INSTITUTO TECNOLÓGICO VALE

Valcir Félix de Lima

ESTUDO DAS METODOLOGIAS PARA A MEDIÇÃO DE MINÉRIOS EM PÁTIOS DE ESTOCAGEM

Parauapebas, Pará

2020

Valcir Félix de Lima

ESTUDO DAS METODOLOGIAS PARA A MEDIÇÃO DE MINÉRIOS EM PÁTIOS DE ESTOCAGEM

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Tecnológico Vale, como parte dos requisitos para obtenção do título de especialista *lato sensu* em Beneficiamento Mineral.

Orientador: Prof. Msc Rogério Ruiz

Coorientador: Prof. Thiago César de Souza Pinto

Parauapebas, Pará
2020

Título: Estudo das metodologias para a medição de minérios em pátios de estocagem
Classificação: ( ) Confidencial ( ) Restrita ( ) Uso Interno (X) Pública

Informações Confidenciais - Informações estratégicas para o Instituto e sua Mantenedora. Seu manuseio é restrito a usuários previamente autorizados pelo Gestor da Informação.

Informações Restritas - Informação cujo conhecimento, manuseio e controle de acesso devem estar limitados a um grupo restrito de empregados que necessitam utilizá-la para exercer suas atividades profissionais.

Informações de Uso Interno - São informações destinadas à utilização interna por empregados e prestadores de serviço

Informações Públicas - Informações que podem ser distribuídas ao público externo, o que, usualmente, é feito através dos canais corporativos apropriados

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

L732e

Lima, Valcir Félix de

Estudo das metodologias para a medição de minérios em pátios de estocagem / Valcir Félix de Lima - Ouro Preto, 2021.

52 f.: il.

Monografia (Especialização latu sensu) - Instituto Tecnológico Vale, 2021.
Orientador: Rogério Ruiz
Coorientador: Thiago César de Souza Pinto

1. Compactação. 2. Densidade Aparente. 3. Inventário. 4. Medição de Estoques I. Ruiz, Rogério. II. Pinto, Thiago César de Souza. III. Título.

CDD. 23. ed. 622.7

Bibliotecária responsável: Nisa Gonçalves – CRB 2 - 525

Valcir Félix de Lima

ESTUDO DAS METODOLOGIAS PARA A MEDIÇÃO DE MINÉRIOS EM PÁTIOS DE ESTOCAGEM

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Tecnológico Vale, como parte dos requisitos para obtenção do título de especialista *lato sensu* em [Beneficiamento Mineral].

Orientador: Prof. Rogério Ruiz
Coorientador: Prof. Thiago Cesar de Souza Pinto

Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em 13 de novembro de 2020 pela banca examinadora constituída pelos professores:

_____
Rogério Ruiz
Orientador – Jenike & Johanson

_____
Thiago Cesar de Souza Pinto
Coorientador – VALE

_____
Frederico Quintiliano Guimarães Góes
Membro interno – VALE

_____
Alfredo Moises Sarkis
Membro interno – Instituto Tecnológico Vale

Os Signatários declaram e concordam que a assinatura será efetuada em formato eletrônico. Os Signatários reconhecem a veracidade, autenticidade, integridade, validade e eficácia deste Documento e seus termos, nos termos do art. 219 do Código Civil, em formato eletrônico e/ou assinado pelas Partes por meio de certificados eletrônicos, ainda que sejam certificados eletrônicos não emitidos pela ICP-Brasil, nos termos do art. 10, § 2º, da Medida Provisória nº 2.200-2, de 24 de agosto de 2001 ("MP nº 2.200-2").

Este documento foi assinado eletronicamente por ALFREDO MOISES SARKIS, Frederico Quintiliano Guimarães Góes, Frederico Quintiliano Guimarães Góes, Thiago césar Souza Pinto e Rogerio Ruiz.
Para verificar as assinaturas vá ao site https://vale.portaldeassinaturas.com.br e utilize o código AFD3-7545-8428-A753.This document has been digitally signed by {signersNames}. This document has been electronically signed by ALFREDO MOISES SARKIS, Frederico Quintiliano Guimarães Góes, Frederico Quintiliano Guimarães Góes, Thiago césar Souza Pinto e Rogerio Ruiz. To verify the signatures, go to the site https://vale.portaldeassinaturas.com.br and use the code AFD3-7545-8428-A753 .

PROTOCOLO DE ASSINATURA(S)

O documento acima foi proposto para assinatura digital na plataforma Portal de Assinaturas Vale. Para verificar as assinaturas clique no link: https://vale.portaldeassinaturas.com.br/Verificar/AFD3-7545-8428-A753 ou vá até o site https://vale.portaldeassinaturas.com.br e utilize o código abaixo para verificar se este documento é válido. The above document was proposed for digital signature on the platform Portal de Assinaturas Vale . To check the signatures click on the link: https://vale.portaldeassinaturas.com.br/Verificar/AFD3-7545-8428-A753 or go to the Websitehttps://vale.portaldeassinaturas.com.br and use the code below to verify that this document is valid.

Código para verificação: AFD3-7545-8428-A753

Hash do Documento

32130F29162C823C6472E6AD02F4B9CFDF37E736F700C87D85FABCD878EA10FF

O(s) nome(s) indicado(s) para assinatura, bem como seu(s) status em 27/01/2021 é(são) :

☑ Alfredo Moises Sarkis (Signatário) - em 27/01/2021 12:13 UTC-03:00
Tipo: Assinatura Eletrônica
Identificaçao: Por email: alfredo.moises@itv.org

Evidências

Client Timestamp Wed Jan 27 2021 12:12:21 GMT-0300 (Hora oficial do Brasil)
Geolocation Latitude: -22.5022 Longitude: -44.1083 Accuracy: 21169
Geolocation Latitude: -22.5022 Longitude: -44.1083 Accuracy: 21169
IP 179.107.146.151
Hash Evidências:
120C74FD161E7BB13219C992ABB37E327F7C292A672355018F884A27C48C89EE

☑ Frederico Quintiliano Guimarães Góes (Signatário) - em 27/01/2021 08:47 UTC-03:00
Tipo: Assinatura Eletrônica
Identificaçao: Por email: frederico.goes@vale.com

Evidências

Client Timestamp Wed Jan 27 2021 08:47:42 GMT-0300 (Hora oficial do Brasil)
Geolocation Latitude: -19.971131578947357 Longitude: -43.97208784210524 Accuracy: 275
Geolocation Latitude: -19.971131578947357 Longitude: -43.97208784210524 Accuracy: 275
IP 201.80.55.230
Hash Evidências:
978B85A078789F1F128F6770578CAD3CAC5936A6499A94534EE6A60935D68CAF

Client Timestamp Wed Jan 27 2021 08:47:42 GMT-0300 (Hora oficial do Brasil)
Geolocation Latitude: -19.971131578947357 Longitude: -43.97208784210524 Accuracy: 275
Geolocation Latitude: -19.971131578947357 Longitude: -43.97208784210524 Accuracy: 275
IP 201.80.55.230
Hash Evidências:
978B85A078789F1F128F6770578CAD3CAC5936A6499A94534EE6A60935D68CAF

☑ Thiago Cesar de Souza Pinto (Signatário) - em 27/01/2021 08:10 UTC-03:00
Tipo: Assinatura Eletrônica
Identificaçao: Por email: thiago.souza@vale.com

Evidências

Client Timestamp Wed Jan 27 2021 08:10:33 GMT-0300 (Hora oficial do Brasil)
Geolocation Latitude: -19.977099750000004 Longitude: -43.976036625000006 Accuracy: 292
IP 201.17.172.176
Hash Evidências:
E4774EE9D6B39AA89822229BDFB3528073C6E8B503A5BC3E8F4873E570A391B8

☑ Rogério Ruiz (Signatário) - 216.029.698-84 em 27/01/2021 08:05 UTC-03:00
Tipo: Assinatura Eletrônica
Identificaçao: Por email: rruiz@jenike.com

Evidências

Client Timestamp Wed Jan 27 2021 08:05:39 GMT-0300 (Brasilia Standard Time)
Geolocation Latitude: -23.0369638 Longitude: -46.982851 Accuracy: 53
IP 179.100.92.182
Hash Evidências:
4CDF5E22EA3E077A35267DBCC24DE39CB919DA3CA9E8359EBEF9E3E066D26BB1

AGRADECIMENTOS

Começo por agradecer a Deus, pois esteve ao meu lado e me deu força, ânimo e crença para continuar lutando por este sonho e objetivo de vida. A Ele eu devo minha gratidão.

Não posso deixar de agradecer a Vale por ter proporcionado a conclusão dessa especialização e acreditado no meu potencial.

Deixo também um agradecimento especial aos meus professores, pois sem eles esta monografia não teria sido possível.

Aos meus pais, eu devo a vida e todas as oportunidades que nela tive, e que espero um dia poder lhes retribuir; a minha esposa e meus filhos, que sempre me apoiaram e incentivaram a não desistir.

Agradeço ainda aos meus amigos da especialização e do trabalho, que se dispuseram em ajudar ao longo desta etapa, me encorajaram e me apoiaram, fazendo com que os momentos difíceis fosse um ânimo para superação.

"… se tentares viver de amor, perceberás que, aqui na terra, convém fazeres a tua parte. A outra, não sabes nunca se virá, e não é necessário que venha. Por vezes, ficarás desiludido, porém jamais perderás a coragem, se te convenceres de que, no amor, o que vale é amar…"

Chiara Lubich

RESUMO

É sabido que o atual processo de medição de estoques ainda gera grandes volumes ajustados o que traz uma insegurança no caixa da empresa visto que os estoques fazem parte do inventário e patrimônio da empresa, onde estes valores são divulgados na bolsa de valor. Além do problema financeiro, temos ainda um grande problema que é a alta exposição dos funcionários na frente de medição o que poderá acarretar grandes acidentes até com fatalidade. Através deste trabalho foi possível identificar novas tecnologias e a definir novos métodos para a obtenção dos valores sistemáticos de densidade aparente, densidade real e densidade compactada, passando uma maior confiabilidade nos dados e buscando uma maior assertividade na medição dos estoques e também, descrever as principais variáveis que influenciam a determinação da densidade aparente, densidade real e densidade compactada das pilhas como, por exemplo, compactação do minério devido à altura e ao método de estocagem. No trabalho, na Seção 1, temos as justificativas e os métodos atualmente aplicados, bem como os objetivos geral e específicos. Na seção 2 temos a Metodologia, enquanto na seção 3 temos a metodologia atual de inventário de estoque. Na seção 4 é apresentada uma nova metodologia de inventário de estoque e, na seção 5, temos os resultados e discussões deste trabalho seguido das considerações finais e referências bibliográficas.

Palavras-chave: Compactação. Densidade Aparente. Inventário. Medição de Estoques.

ABSTRACT

It is known that the current inventory measurement process still generates large adjusted volumes, which causes insecurity in the company's cash since stocks are part of the company's inventory and assets where these values are disclosed on the stock exchange. In addition to the financial problem, we also have a major problem, which is the high exposure of employees on the measurement front, which can cause major accidents even with fatality. Through this work it will be possible to identify new technologies and define new methods for obtaining the systematic values of apparent density, real density and compacted density, passing a greater reliability in the data and seeking greater assertiveness in the measurement of stocks and also, describe the main variables which influence the determination of apparent density, actual density and compacted density of the piles, for example, ore compaction due to height and storage method. At work, in Section 1, we have the justifications and methods currently applied, as well as the general and specific objectives. In section 2 we have the Methodology, while in section 3 we have the current inventory inventory methodology. In section 4 a new inventory inventory methodology is presented and, in section 5, we have the results and discussions of this work followed by the final considerations and bibliographic references.

Keywords: Compaction. Apparently density. Inventory. Inventory Measurement.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma de produção VALE S/A. 17
Figura 2 – Mesas de pesagem Vidmar Group 21
Figura 3 – Área de influência da pesagem 22
Figura 4 – Rolete de pesagem..... 23
Figura 5 – Rolete de pesagem visão frontal 23
Figura 6 – Tensão da correia sobre os roletes 24
Figura 7 – Uniformidade do carregamento da correia..... 24
Figura 8 – Contato da correia com os rolos..... 24
Figura 9 – Visão geral do sistema de pesagem..... 24
Figura 10 – Técnica de determinação de densidade por preenchimento por volume de água....26
Figura 11 – Altura das pilhas por período e por usina..... 27
Figura 12 – Método de Empilhamento Chevron 28
Figura 13 – Método de bancada para recuperar pilhas..... 28
Figura 14 – Método recuperação de pilhas pelo método de bancadas 29
Figura 15 – Evolução no levantamento topográfico..... 30
Figura 16 – Topografia de pilhas gerada em 3D por *Scaner a Laser*..... 31
Figura 17 – Sobrevoo das áreas dos pátios e base marco topográfico PD-04..... 31
Figura 18 – Levantamento aerofotogramétrico 32
Figura 19 – Percentual de sobreposição de foto 33
Figura 20 – Layout do pátio 33
Figura 21 – Layout de pátio..... 34
Gráfico 1 – Histórico dos ajustes de estoques de 2019 e 2020..... 36
Figura 22 – Posição de instalação dos instrumentos na empilhadeira - vista lateral 38
Figura 23 – Posição de instalação dos instrumentos na empilhadeira – vista superior3 39
Figura 24 – Posição de instalação dos instrumentos na recuperadora – vista lateral..... 39
Figura 25 – Posição de instalação dos instrumentos na recuperadora – vista superior..... 39
Figura 26 – Tela do aplicativo Lynx Studio 3D 40
Figura 27 – Plataforma para cálculo e de volume e massa das pilhas..... 41
Figura 28 – Formação de pilha pelo método Chevron 42
Figura 29 – Densidade de massa mínima e máxima de um material compressível armazenado em um estoque 42
Figura 30 – Densidade média após formação inicial da pilha e retomada em bancadas..... 43

Gráfico 2 – Variação da densidade em função da altura 46
Figura 31 – Densidade média após formação inicial da pilha e retomada em bancadas..... 45
Figura 32 – Layout de pátio 3D com cálculo de volume..... 46
Figura 33 – Pátio de estocagem após rechego do material..... 47
Gráfico 3 – Comparação da densidade (método do preenchimento x Scanner)..... 47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Levantamento de pilha do produto 34
Tabela 2 – Tempo de execução no processo de levantamento aerofotogramétrico 35
Tabela 3 – Histórico dos ajustes de estoques 35
Tabela 4 – Densidade aparente 44
Tabela 5 – Estoques físicos versos estoques contábeis 48

LISTA DE SIGLAS

CLP	Controlador Lógico Programável (do inglês: ProgrammableLogicController – PLC)
GPS	Global Positioning System ou Sistema de Posicionamento Global
GPVM	Gestão de Produção Vale
ITV	Instituto Tecnológico Vale
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PIMS	*Process Information Management System* – Sistema de Gerenciamento de Informações de Processo
SAP	Sistema Contábil
SDCD	Sistema Digital de Controle Distribuído
SGP	Sistema de Gerenciamento de Pátios
V	volume

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 16

2 JUSTIFICATIVA 17

3 OBJETIVOS 17

3.1 Objetivos gerais 17

3.2 Objetivos específicos 18

4 METODOLOGIA 19

5 REFERENCIAL TEÓRICO 19

5.1 Metodologia atual de inventario de estoque 20

5.2 Sistema de pesagem para contabilização dos estoques 20

5.3 Fatores que podem influenciar inconsistência no sistema de pesagem 21

5.4 Determinação de densidade 25

5.5 Levantamento topográfico 29

5.6 Evolução no levantamento topográfico 30

5.7 Levantamentos aerofotogramétricos 31

5.8 Histórico dos ajustes dos estoques 35

6 ANÁLISE E RESULTADOS - NOVA METODOLOGIA DE INVENTÁRIO DE ESTOQUE 36

6.1 Sistema de controle 36

6.2 Plataforma LINX RTP 37

6.3 Mapeamento por scanner laser 37

6.4 Mapeamento por scanner radar 37

6.5 Posição de instalação dos instrumentos nas empilhadeiras e recuperadoras 38

6.6 Aplicativo lynx studio 3d 40

6.7 Plataforma para cálculo de volume e massa das pilhas 40

6.8 Fatores que influenciam a determinação densidade 41

6.9 Fatores que influenciam a determinação densidade 41

6.10 Metodologia de determinação de densidade com Scanner a laser 42

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES 44

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS 49

REFERÊNCIAS 51

1 INTRODUÇÃO

Em Carajás, diariamente, escavadeiras e pás carregadeiras retiram toneladas de minério de ferro *Run of Mine*, que são transportadas por caminhões fora de estrada até o britador primário, onde são reduzidas a partículas com menos de 20 milímetros, matéria prima conhecida como ROM a ser utilizada no processo de produção, sendo esta a primeira etapa de beneficiamento do minério. Depois de britado o minério segue por correias transportadoras para a fase seguinte: usina de beneficiamento. Na usina de beneficiamento inicia-se o processo de peneiramento, onde acontece a segregação das partículas em 17 linhas de produção; nesta fase, é feita segregação do minério de ferro em três tamanhos distintos.

Granulados: material entre 6 a 50 mm de diâmetro que podem ser utilizados diretamente nos altos fornos.

Sinter feed: partículas mais finas do que os granulados, têm até 6 mm de diâmetro.

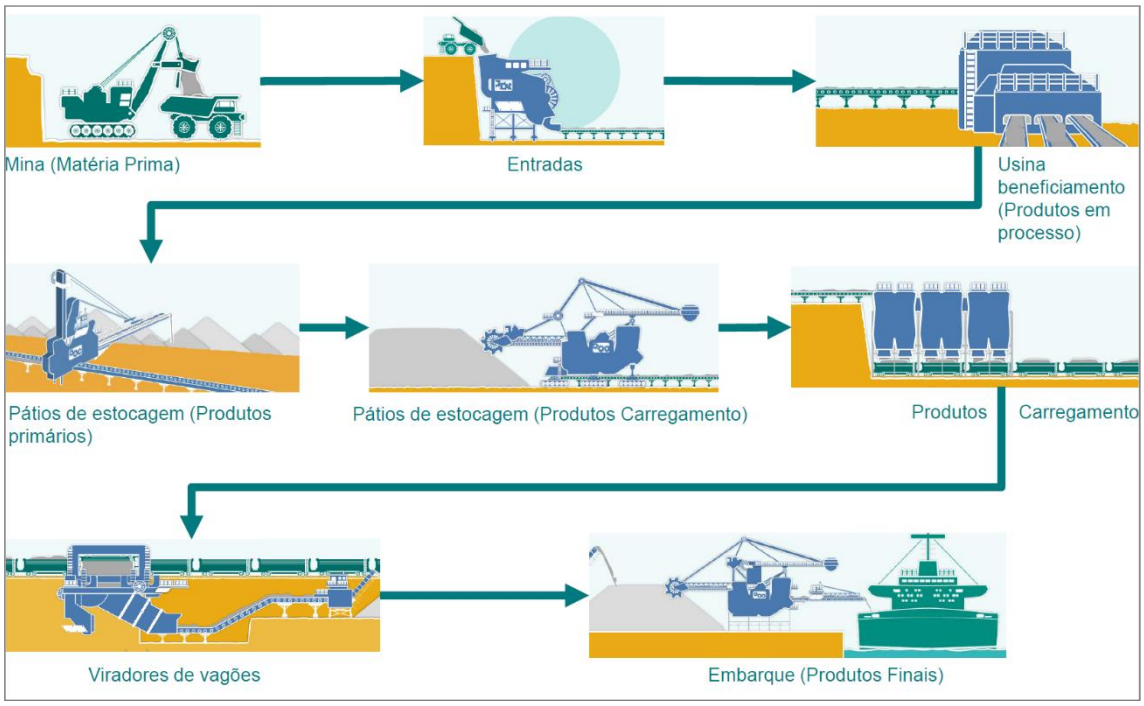
Pellet feed: partículas de minério de ferro muito finas, que necessitam passar por um processo de aglomeração para serem transformadas em pelotas.

Depois de processado, na segunda fase de produção o minério segue pelas correias transportadoras para a terceira fase: a estocagem. Nesta etapa, a estocagem do minério acontece por empilhadeiras, utilizando-se de três métodos de empilhamento: chevron, cone e cone shell, quando é estocado em pilhas de até 12 metros de altura no período chuvoso e até 14 metros de altura no período seco, com até 38 metros de largura. A deposição do minério é formada por diversas pilhas organizadas de forma estratégica, a fim de alimentar o processo seguinte, a expedição. As pilhas de produto constituem o estoque e, desde então, passam a fazer parte do ativo da empresa.

Porém, devido aos fenômenos existentes como umidade do minério, material fugitivo, erros de pesagem das balanças, compactação de pilha de minério, granulometria, altura, drenabilidade, entre outros, os quais podem ocasionar ajustes negativos ou positivos no valor indicado no controle do estoque, podendo influenciar diretamente nas estratégias de produção e resultados financeiros da empresa; portanto, a gestão do quantitativo dos estoques faz-se necessária, visando um bom controle contábil.

Por esta razão, torna-se necessário o estudo dos fenômenos responsáveis que podem gerar ajustes de estoques e de estoques inconsistentes.

Figura 1 – Fluxograma de produção VALE S/A.



Fonte: Arquivo VALE S/A.

2 JUSTIFICATIVA

Os ajustes de estoques gerados no processo de inventário mediante a estes fenômenos são muito expressivos e de uma relevância significativa dentro da cadeia produtiva.

Na busca por maior obsessão em segurança, produtividade, confiabilidade e redução de custos na indústria mineral, o inventário de estoque por meio de levantamento topográfico e aferição de densidades por pessoas em campo não deve ser a única metodologia a ser considerada.

3 OBJETIVOS

Foi considerado no estudo*:* o *sinter feed* de minério de ferro, devido a sua grande importância na cadeia de produção.

3.1 Objetivos gerais

Este estudo teve como objetivo geral identificar os processos responsáveis que podem gerar valores de ajuste de estoque inconsistente, analisando suas criticidades dentro do

processo de inventário de estoque e propor novo método de aferição de densidade e levantamento topográfico de minério de ferro, para a o inventário de estoque contábil no setor de mineração.

3.2 Objetivos específicos

- Apresentar sistema de pesagem para contabilização do estoque.
- Apresentar os métodos de aferição de densidades.
- Apresentar metodologia atual de inventário de estoque.
- Coleta dos históricos dos ajustes de estoques.

4 METODOLOGIA

O presente estudo visou analisar a e discorrer os fenômenos de processos que levam ao ajuste de estoques por meio da avaliação do método de controle de inventario de estoque.

Desta forma, o trabalho visa a analisar a eficiência dos processos de gestão de estoques, em específico as metodologias de cubagem utilizada para realização do inventario mensal.

Sendo assim, o presente estudo visou discorrer sobre os fenômenos de processos que levam ao ajuste de estoques com os seguintes estudos:

1. Metodologias utilizadas atualmente para determinação de densidade, volumes e massa nas pilhas de produtos;
2. Descrever os principais processos que influenciam na aferição da massa das pilhas de produto:
   - Sistema de pesagem das balanças;
   - Método de aferição de densidade;
   - Metodologia atual de inventário de estoque;
   - Coleta dos históricos dos ajustes de estoques;
3. Apresentar novas metodologias para determinar a densidade em pilhas de produtos visando a contabilização precisa dos estoques físicos.

5 REFERENCIAL TEÓRICO

Carajás passa pelo processo e implantação do projeto pátio autônomo pela empresa Linx Optimization, um sistema de operação autônoma das máquinas de pátio de estocagem que compõem a solução de operação, em modo autônomo, de empilhadeiras e recuperadoras, para estocagem e recuperação de minério.

Com o sistema de controle do projeto, a instrumentação dedicada para cada máquina e sistemas centralizados de planejamento, operação, supervisão e inventário de estoques, o mesmo possui interface lógica com os sistemas – supervisório e GPVM – existentes e que permitem o pleno funcionamento da plataforma Lynx, onde se tem todos os dispositivos, componentes, softwares e acessórios para uma operação segura e eficiente.

A plataforma Lynx para operação autônoma de máquinas possui várias funcionalidades; entre elas, podemos destacar o sistema de mapeamento de pátio com

inventário do estoque de minério através da digitalização de pilhas por scanner laser, scanner radar e interfaces 3D e visualização 3D dos pátios.

5.1 Metodologia atual de inventário de estoque

Atualmente o processamento de inventário de estoque, em Carajás passa por quatro fases: na primeira fase os volumes de produção das usinas são contabilizados pelas balanças dinâmicas acopladas às correias transportadoras que vão se tornar estoque em pilhas de produtos; na segunda fase é a determinação da densidade, conforme procedimento operacional da unidade de Carajás, no minério estocado em pilhas, a densidade é a razão entre a massa contabilizada na primeira fase e o seu volume correspondente encontrado na terceira fase pelo método de levantamento aerofotogramétrico, através de aeronaves não tripuladas (RPA/Drones).

Na última fase as informações são inseridas na Gestão de Produção Vale (GPVM) manualmente, com exceção da produção que é originada no sistema da automação (PIMS), estas informações são validadas e calculadas dentro do GPVM, onde se tem o valor do inventário que serão enviados automaticamente para o Sistema Contábil (SAP) e após assinaturas do documento com a autorização para realizar os ajustes devidos.

Utilizando o GPVM temos acesso às bases históricas. Os dados gerados pelo sistema podem ser exportados para o Excel em forma de relatório.

5.2 Sistema de pesagem para contabilização dos estoques

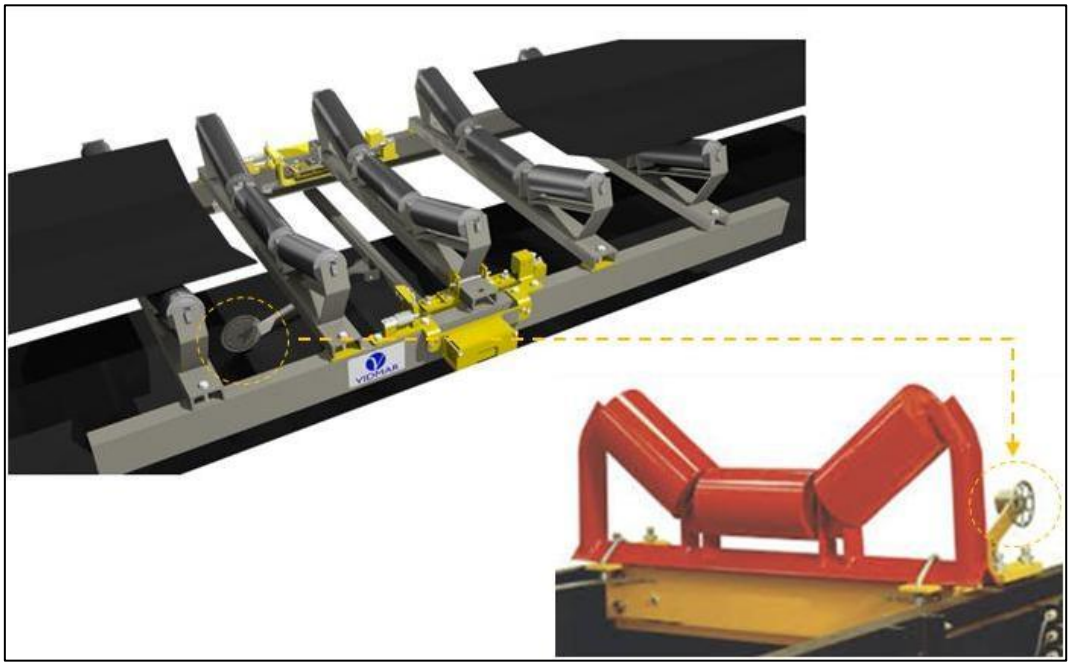
O sistema de pesagem utilizado em Serra Norte, para aferir a produção, consiste basicamente em balanças dinâmicas acopladas às correias transportadoras; a quantidade de minério movimentado em uma correia transportadora, indicando este número em vazão e unidade de massa transportada por unidade de tempo. Para medir o fluxo contínuo de material, a balança integradora realiza a medição da carga específica em uma determinada seção da correia, utilizando células de carga. Quanto mais extensa for esta seção da correia, menos influência terão os fatores externos para o resultado de medição.

Além da carga específica na correia, a balança mede a velocidade desta utilizando um sensor de velocidade. Os produtos destas duas grandezas, carga e velocidade, correspondem à vazão atual, com a quantidade totalizada de minério sendo obtida por integração da vazão.

O peso do material sendo transportado é medido através do sensoriamento da força-

peso transmitida por um ou mais cavaletes de pesagem e por sensores de forças denominados células de carga; a velocidade com a qual o material está sendo transportado é medida através de um dispositivo que mede a velocidade instantânea da correia transportadora supondo que o material sobre ela esteja na mesma velocidade (não haja escorregamento), conforme a Figura 2 e Equação 1, a seguir.

Figura 2 –Mesas de pesagem Vidmar Group



Fonte: Arquivo vidmargroup.com, s/d.

A vazão e a quantidade totalizada de minério são dadas pela equação 1:

Q [kg/s] = C [kg/m] x V[m/s]

Q [t/h] = C [kg/m]. (1 ton/1000 kg) x V[m/s].(3600seg / 1 hora)

Q [t/h] = C [kg/m] x V[m/s] x 3,6

Onde:

Q – Vazão;

C – Peso específico;

V – Velocidade.

5.3 Fatores que podem influenciar inconsistências no sistema de pesagem

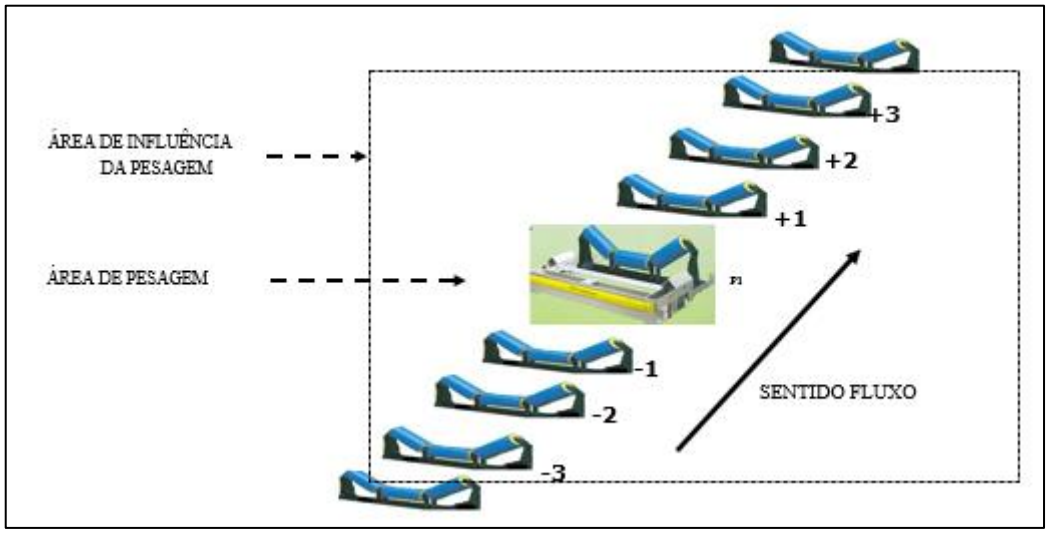
No sistema de pesagem temos vários componentes que podem apresentar inconsistência devido a fatores externos; entre esses componentes de uma balança vamos citar apenas dois fatores: plataforma de pesagem e roletes de pesagem.

Plataforma de Pesagem

É constituída por vigas robustas de aço estrutural sendo uma parte fixa, que deve ser apoiada nas longarinas do transportador, e outra parte o sensor, denominada estrutura de pesagem, é destinada a transmitir o peso do material transportado para a célula de carga de precisão aplica sob tração.

Quanto maior for o comprimento da plataforma de pesagem melhor será a eficiência da pesagem (Figura 3).

Figura 3 – Área de influência da pesagem



Fonte: Treinamento Interno de Balanças Dinâmicas (VALE S/A., 2011).

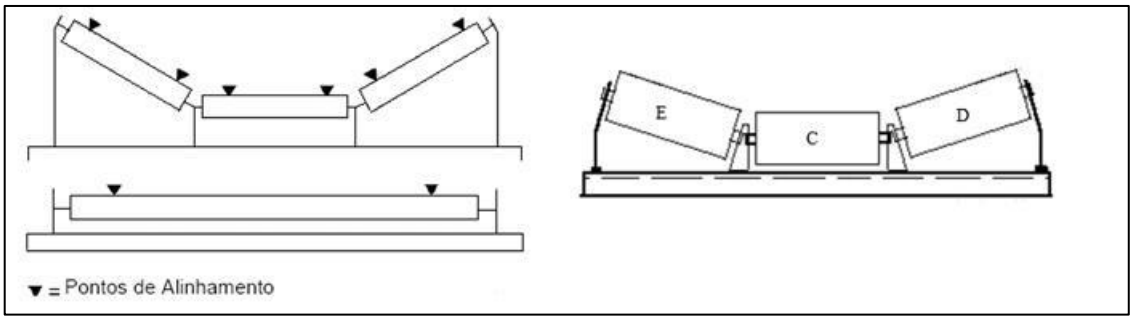
Roletes de Pesagem

Constitui-se de um suporte (cavalete) com um conjunto de rolos (1, 2, 3). Estes rolos devem ser balanceados dinamicamente, auto lubrificados e com excentricidade de 0,2mm.

São considerados roletes da área da balança o próprio rolete de pesagem e os dois ou três roletes adjacentes em ambos os lados.

Todos os rolos da zona de influência devem estar alinhados nos pontos indicados e girando livremente, com diferença máxima permitida entre o rolo E com o rolo D de 0,4mm.

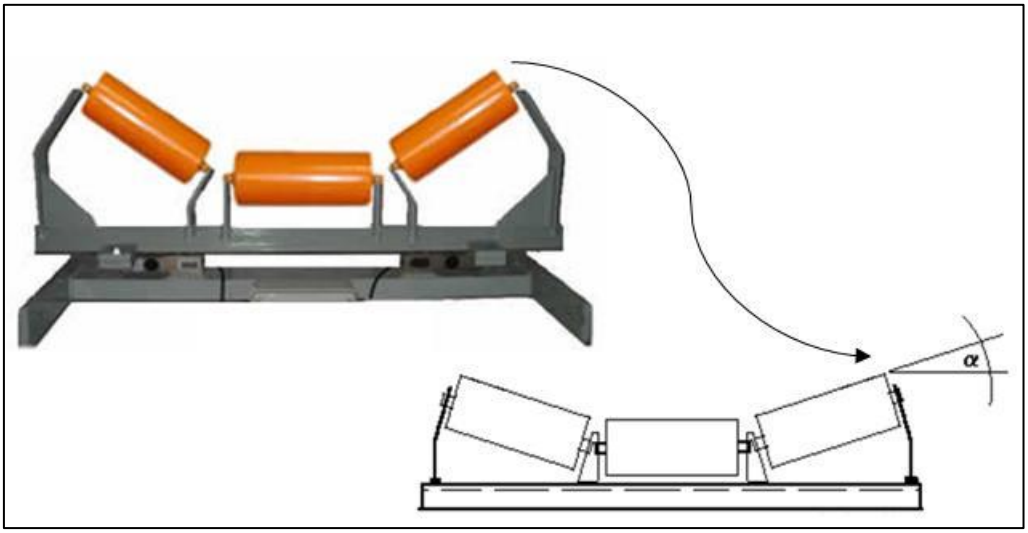
Figura 4 – Rolete de pesagem



Fonte: Treinamento Interno de Balanças Dinâmicas (VALE S/A., 2011).

A recomendação mecânica traz, entre outras regras, a observação do ângulo de inclinação.

Figura 5 – Rolete de pesagem visão frontal

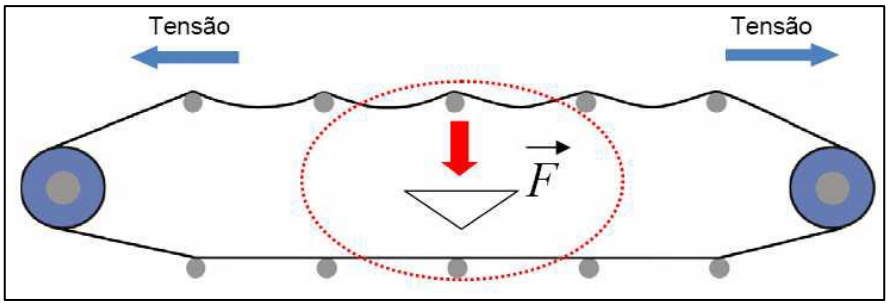


∝ : 0 a 20 graus bom
Até 30 graus ainda satisfazem
> que 30 graus reduzem a precisão

Fonte: TOLEDO DO BRASIL, 2010 (Manual integrador).

O desalinhamento dos roletes é o responsável primário pelos erros da balança, mas é o seu efeito na tensão da correia, provocando uma variação na área de pesagem, que causa a operação inadequada da balança. Manter os roletes alinhados requer esforços normalmente negligenciados pelo gerenciamento do transportador.

Figura 6 – Tensão da correia sobre os roletes



Fonte: SILVEIRA, s/d.

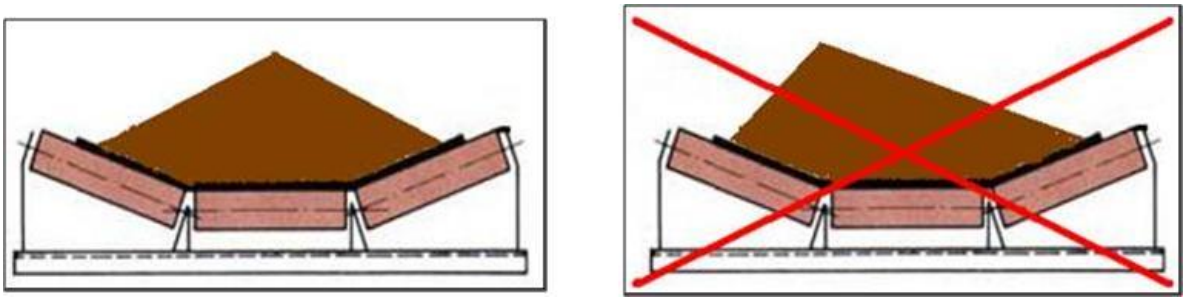
Deve ser inserido no bloco sob a haste de tração da célula de carga antes da remoção da trava de transporte.

Embora o sistema de pesagem opere com precisão na maioria das aplicações, é desejável que o carregamento da correia seja o mais uniforme possível, para que a alimentação do transportador ocorra de forma contínua e regular; o chute de alimentação deverá, se possível, ser equipado com comporta de regulagem de fluxo.

Conforme comentado anteriormente, o rolete utilizado na pesagem é diferenciado, assim como os roletes que pertencem à área de influência da balança.

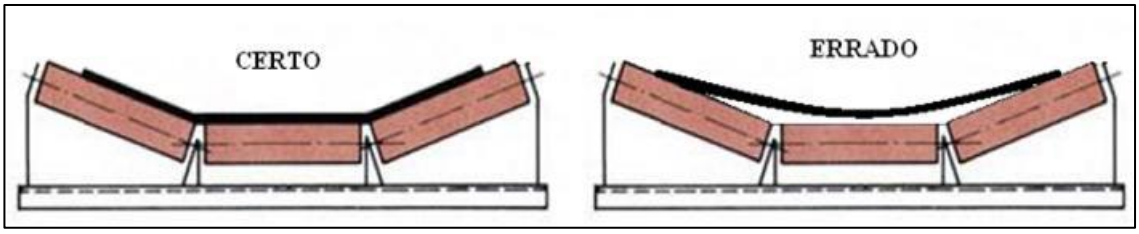
A correia deve estar em contato com os rolos mesmo com a correia vazia.

Figura 7 – Uniformidade do carregamento da correia



Fonte: Treinamento sobre balanças dinâmicas (VALE S/A., 2011).

Figura 8 – Contato da correia com os rolos



Fonte: Treinamento sobre balanças dinâmicas (VALE S/A., 2011).

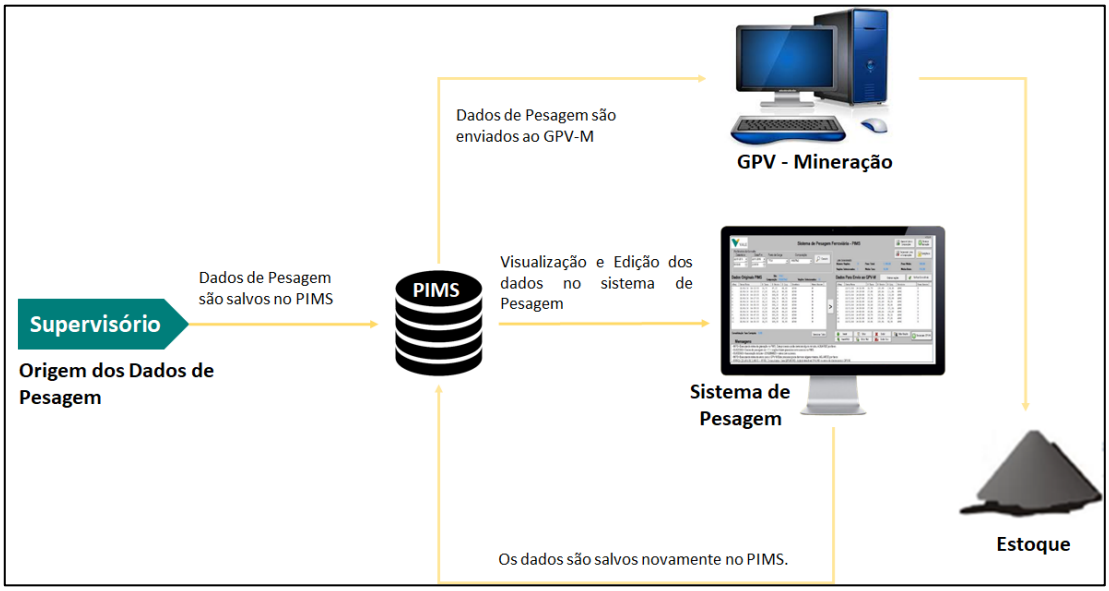
O sistema de pesagem multiplica o peso do material transportado pela velocidade da correia, para assim chegar a um resultado preciso, que é então totalizado.

Uma vez que a velocidade do material foi assumida como sendo a velocidade da correia, o deslizamento do material deve ser evitado pela inclinação adequada do transportador.

Em transportadores de inclinação acentuada e alta velocidade, é necessário que a balança esteja localizada a uma distância considerável do ponto de carregamento, a fim de que haja tempo para o material se acomodar na correia.

A Figura 9 mostra a visão geral do sistema de pesagem.

Figura 9 – Visão geral do sistema de pesagem



Fonte: Autoria própria, 2020.

5.4 Determinação de densidade

A densidade de um sólido é a razão entre a sua massa e o seu volume correspondente. Segundo Abreu (2009) apud *Reis* (2011) existem vários métodos indicados para a determinação da densidade de minério estocado em pilhas. A escolha do método mais adequado depende da característica, localização, formação, retomada da pilha e das condições operacionais.

Em tratamento de minérios, o manuseio do minério se dá na forma de grãos e em grandes volumes. Há, portanto, a necessidade de se conhecer a densidade real e a densidade aparente.

- **Densidade real ou relativa**: considera apenas o volume do conjunto de grãos que compõe a amostra, sem considerar o espaço vazio existente entre os grãos.

- **Densidade aparente:** considera o volume total da amostra, inclusive o espaço vazio entre os grãos que a compõem.

Portanto, a densidade real ou relativa de uma determinada amostra de um minério sempre será maior que sua densidade aparente.

Em Carajás utiliza-se como metodologia, a técnica do preenchimento do volume para determinação de densidade de pilhas, conforme procedimento operacional de determinação de densidade em minério de ferro da unidade de Carajás. A técnica consiste em cavar um buraco plano com paredes regulares, retirar e pesar o material escavado, revestir o buraco com plástico fino e preencher com um volume de água conhecido utilizando-se uma proveta graduada, de forma a se obter o volume da área de onde foi retirada a massa de material, conforme a Equação 2 e Figura 10.

Matematicamente, a densidade (d) é a razão entre a massa de uma substância (m) e o seu volume (V) (ATKINS; JONES, 2001).

$$d = \frac{massa}{volume} \quad ou \quad d = \frac{m}{v}$$

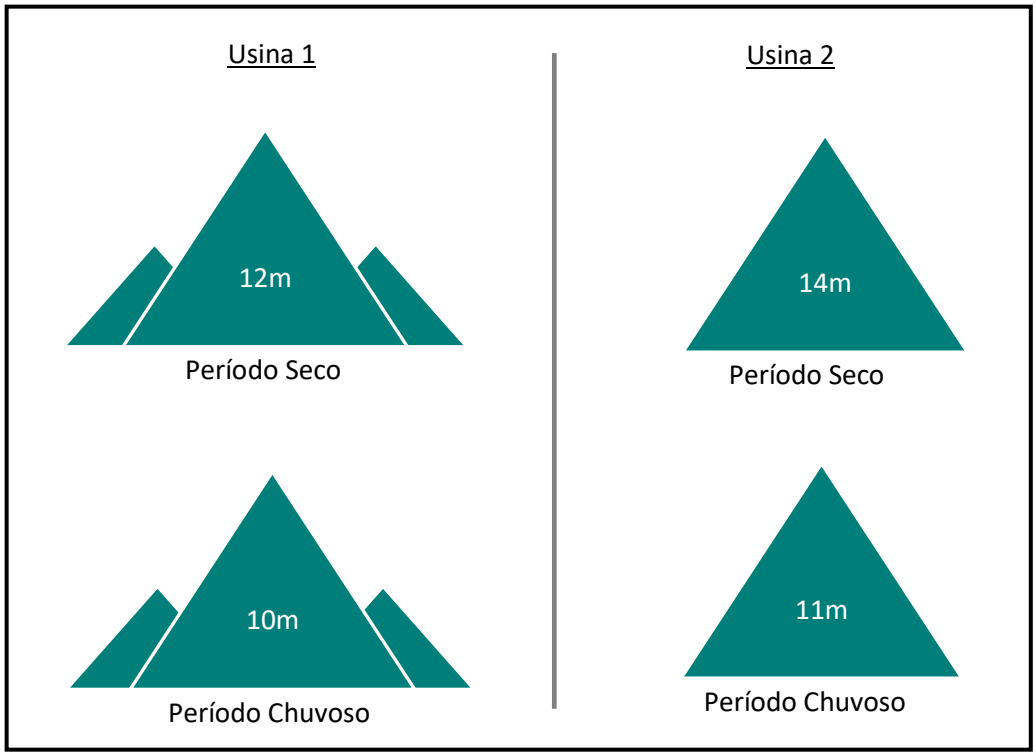
Figura 10 – Técnica de determinação de densidade por preenchimento por volume de água

Fonte: Autoria própria, 2020.

Para o emprego deste método faz-se necessário o uso de um veículo com motorista e dois empregados; requer também cuidados especiais para evitar a possibilidade de erros, como os causados por bolhas de ar aderentes à amostra e às paredes do picnômetro e o recolhimento de toda a massa retirada do buraco escavado.

O método utilizado em Carajás (com base na ISO 3852:2007) é limitado, pois não leva em consideração a densidade de massa pelo fator de compressão, que varia significativamente com a altura das pilhas, onde a Usina 1 pode chegar até 12 m, Usina 2 a 14 m, formada pelo método de empilhamento Chevron, conforme descrito no procedimento Vale, (PRO 006922 empilha minério) e recuperação pelo método de bancada, conforme descrito no mesmo procedimento, Vale (PRO 006924 recuperar minério).

Figura 11 – Altura das pilhas por período e por usina



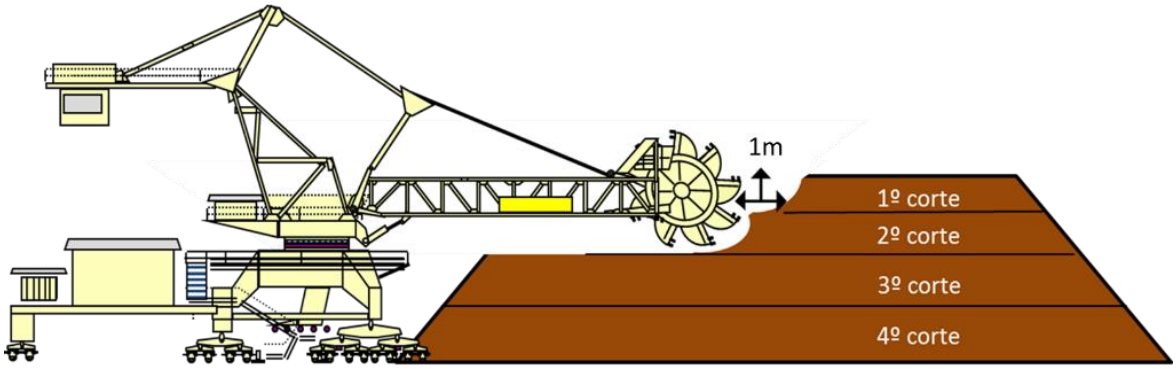
Fonte: Autoria própria, 2020.

O método Chevron consiste no empilhamento em camadas sucessivas ao longo do mesmo eixo, umas sobre as outras, na direção longitudinal da pilha conforme Figura 12.

Figura 12 – Método de Empilhamento Chevron

Fonte: Autoria própria, 2020.

Figura 13 – Método de bancada para recuperar pilhas



Fonte: PRO 006924, recuperar minério (VALE S/A., 2020).

Figura 14 – Método recuperação de pilhas pelo método de bancadas

Fonte: Autoria própria, 2020.

Portanto, a metodologia utilizada desconsidera a consolidação da compressão devido à altura das pilhas (formação e recuperação). Segundo Oliveira (2015), as fontes de incertezas representam os agentes que geram erros no processo de medição de pilhas, sendo que todas estas devem ser eliminadas ou minimizadas, a fim de se evitar influência na medição da densidade, contribuindo para que o estoque contábil nem sempre corresponda ao estoque físico, gerando incerteza aos ajustes de estoques e, consequentemente, dúvidas ao monitoramento dos mesmos, podendo influenciar diretamente nas estratégias de produção e resultados financeiros da empresa.

5.5 Levantamento topográfico

O levantamento topográfico de uma determinada área visa obter com precisão os elementos que permitem a elaboração das plantas topográficas. Para isso, são necessárias um número suficiente de coordenadas de pontos da superfície do terreno, utilizando métodos e instrumentos adequados. Sendo a topografia a ciência por trás disso, seus métodos de execução foram se aprimorando ao decorrer dos anos. Com isso, surgiu uma ramificação, a fotogrametria.

Quando falamos em localizar pontos no terreno, nos referimos a coordenada exata dele em relação ao globo terrestre ou a um ponto conhecido. As duas técnicas de levantamento topográfico conseguem isso.

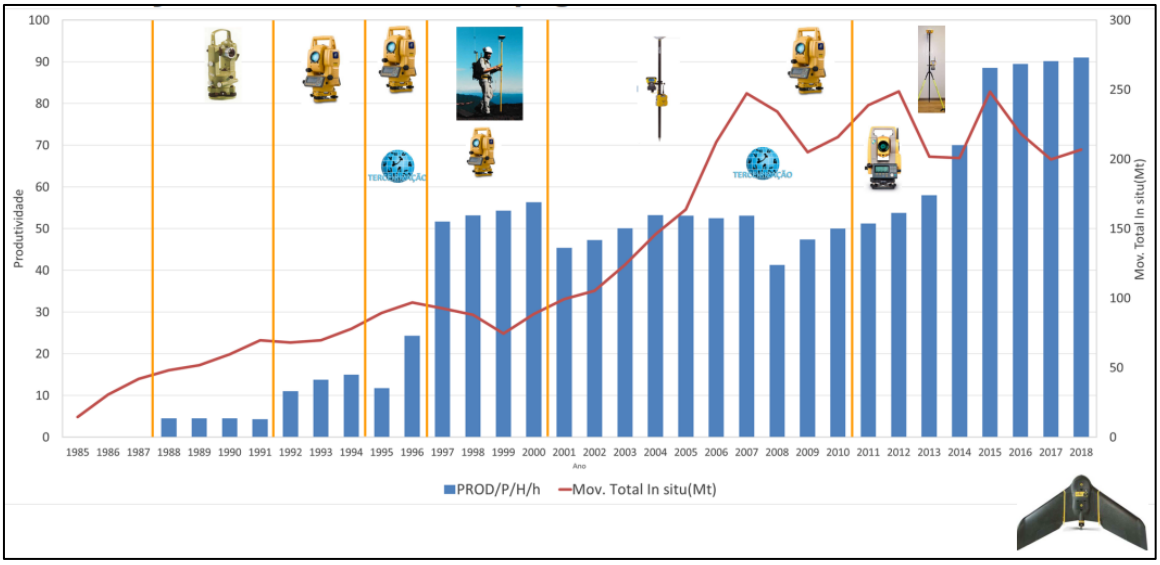
Tudo isso para fornecer um trabalho topográfico de acordo com as normas técnicas, desde informações básicas até relatórios mais elaborados.

5.6 Evolução no levantamento topográfico

Nos últimos tempos, surgiram tecnologias que vieram para inovar a forma de fazer topografia, o mapeamento aéreo com drones, onde é possível extrair medidas do seu terreno.

As imagens dos equipamentos mencionados na Figura 15, a seguir, extraem dados pontuais do terreno o que, além de representar parcialmente a área de estudo, demanda tempo e grande atenção dos seus operadores.

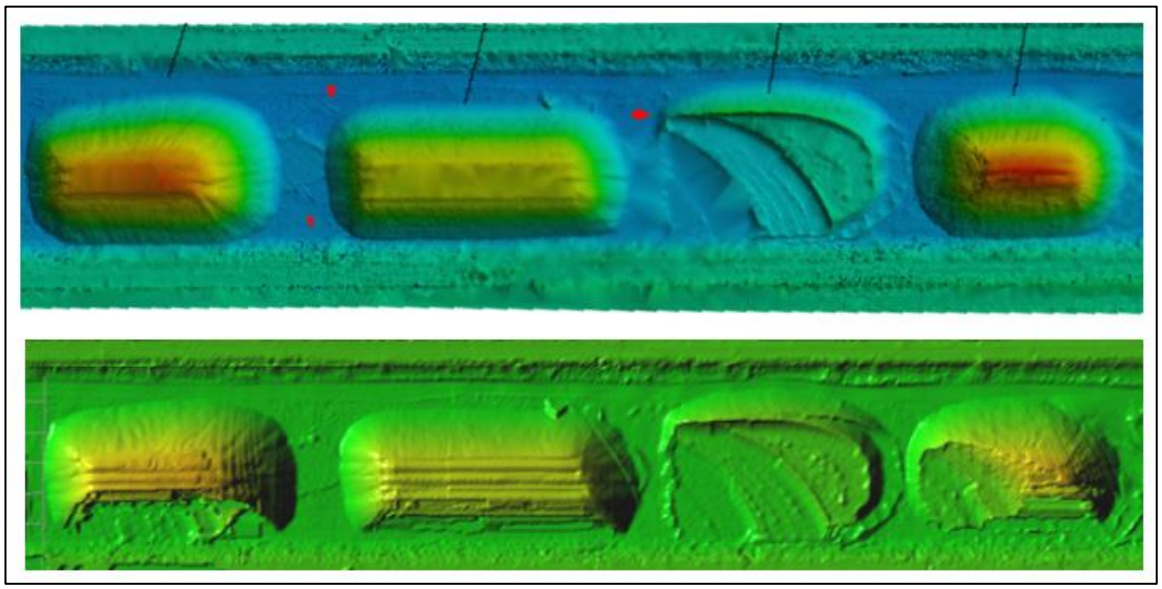
Figura 15 – Evolução no levantamento topográfico



Fonte: SOUZA, A. Treinamento de interno de RPA/Drones (VALE S/A., 2019).

As novas tecnologias (Scaner laser e radar com imagem 3D) possibilitam construir um modelo 3D da área levantada (Figura 16).

Figura 16 – Topografia de pilhas gerada em 3D por *Scaner a Laser*



Fonte: Sistema de gerenciamento de pátio (LINX Optimization), 2013.

5.7 Levantamentos aerofotogramétricos

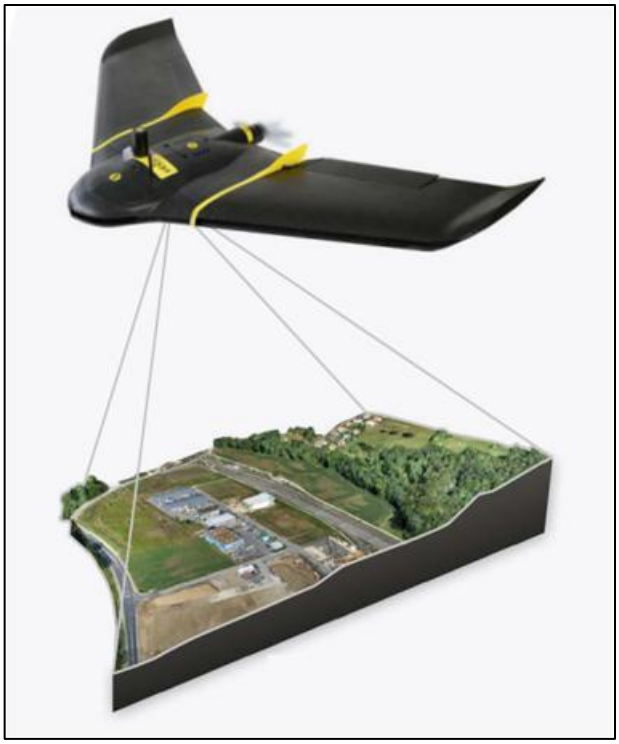
Atualmente, o Complexo Minerador de Carajás, utiliza o levantamento aerofotogramétrico (RPA/Drones) para realizar os inventários das pilhas de Produto. Os levantamentos aerofotogramétricos geram nuvens de pontos (X,Y,Z, Pixel) através de sobrevoo das áreas dos pátios, com apoio base marco topográfico PD-04, conforme Figura 17.

Figura 17 –Sobrevoo das áreas dos pátios e base marco topográfico PD-04

Fonte: SOUZA, A. Treinamento de interno de RPA/Drones (VALE S/A., 2019).

A Figura 18, a seguir, demonstra o levantamento aerofotogramétrico RPA/Drones.

Figura 18 – Levantamento aerofotogramétrico



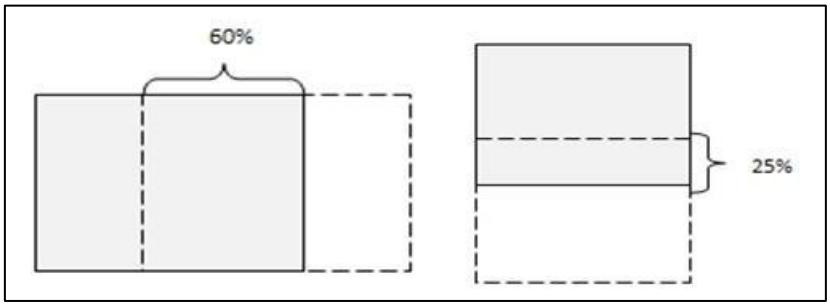
Fonte: Especificação técnica (GeoAgri Tecnologia, s/d.).

O voo fotogramétrico é realizado pela aeronave RPA/Drones, na qual é acoplada uma câmera fotogramétrica que cobre toda a área a ser levantada.

Após o levantamento aerofotogramétrico, a equipe inicia o processo de tratamentos dos dados abrangendo os pátios e pilhas, o mesmo ocorrendo através de softwares específicos para cada tipo de levantamento, sendo que a nuvem de pontos adquirida pelo sobrevoo dos pátios foi realizada pelo Pix4Dmapper.

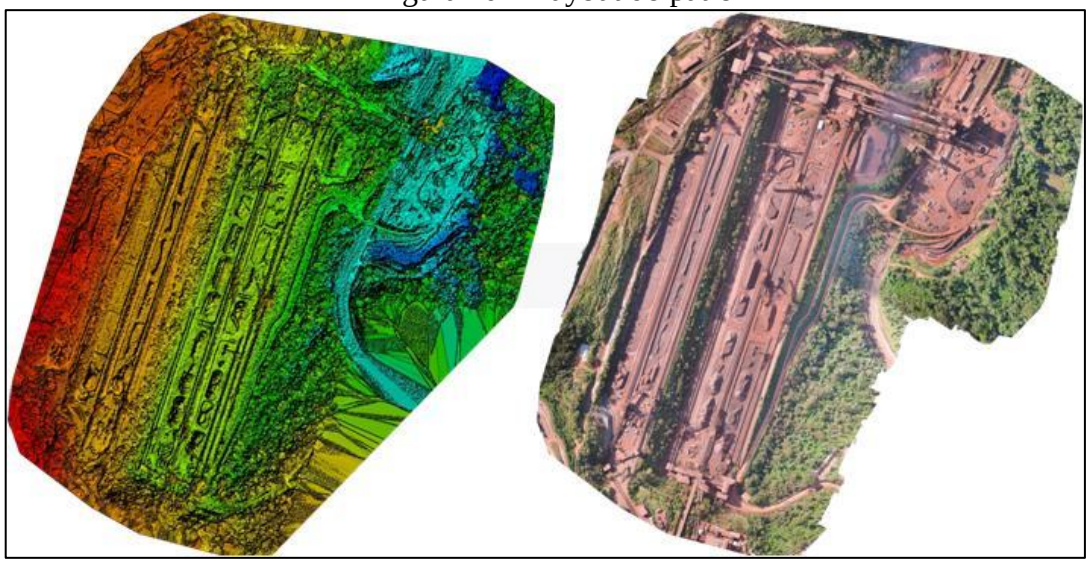
Para obter uma cobertura completa da área dos pátios de estocagem a ser representado, as fotografias aéreas são tomadas de modo sobreposto. Para isto, o ideal seria manter o vôo em linha reta e a uma altura constante; entretanto, isso nem sempre é possível causando pequenas distorções nas fotos. Cada foto tirada em uma faixa de vôo deve sobrepor-se a outra em 25% lateralmente, e em 60% longitudinalmente.

Figura 19 – Percentual de sobreposição de foto



Fonte: Autoria própria, 2020.

Figura 20 – Layout do pátio



Fonte: Relatório de medição topográfica (VALE S/A, s/d).

Este método, embora muito utilizado para fins de mapeamento, assim como qualquer outro método de representação da superfície terrestre oferece algumas limitações. Neste caso, as limitações se referem à interpretação das imagens obtidas, as quais exigem perícia do intérprete para reconhecer e diferenciar objetos, principalmente porque a forma destes (meio pelo qual se faz o reconhecimento) pode ser alterada de acordo com a perspectiva da máquina na hora do registro da imagem (fotografia), ou mesmo devido às características de interação da radiação eletromagnética com o alvo ou o conjunto observador-sensor.

Outra dificuldade encontrada para esta técnica está na instabilidade do voo, principalmente quando feito em local onde haja vento constante.

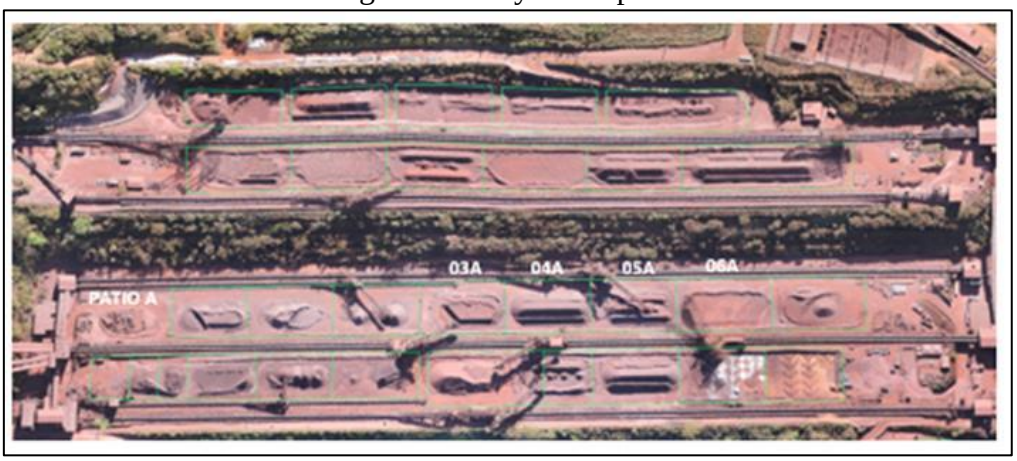
Quando a aerofotogrametria é feita com o intuito de mapear o local, traça-se um plano de vôo de forma que as fotos sejam tiradas “em faixas” que cobrirão, paralelamente, todo o terreno (IBGE, s/d).

No Brasil, o levantamento aerofotogramétrico deve ser previamente autorizado pelo

Ministério da Defesa, e somente por empresas especializadas e autorizadas pelo Ministério para tal finalidade ou por entidades do governo, devendo ser informada a área de abrangência do levantamento e localização.

Após o levantamento aerofotogramétrico e planialtimétrico, georreferenciado para fins de cálculos volumétricos, a Gerência de Planejamento à Curto Prazo do Corredor Norte envia, em forma de relatório, os volumes de material/produto existente nos Pátios de Produto e Pilhas da Usina Serra Norte (Carajás), referente ao mês e ano de referência conforme Figura 21 e Tabela 1.

Figura 21– Layout de pátio



Fonte: Relatório de medição topográfica (VALE S/A, s/d).

Tabela 1 – Levantamento de pilha do produto

Tratar Dados Topográficos VALE

PRO-006696, Rev.: 09 - 22/03/2019- Classificação: Uso Interno - Pág. 1 de 1

Diretoria Emitente: Diretoria Corredor Norte

Anexo 03 - Levantamento de Pilha de Produto

Data da Medição: 20/07/2020 **Pátio: A**
Responsável Técnico: Carlos Alberto **Calculado por: Carlos Alberto**

Pilha	Código da Pilha	Volume (m^3)	Hora inicio do Levantamento	Hora final do Levantamento	Baliza	Produto
00A	SNP190008	-	-	-	8-16	PPCJ
01A	SNP190010	-	-	-	17-25	PPCJ
02A	SNP190009	-	-	-	26-34	PPCJ
03A	SNP200001	6.526,780	15:32	15:33	35-43	SFCK
04A	SNP190012	14.581,330	15:33	15:34	44-52	SFCK
05A	SNP190013	7.487,220	15:34	15:35	53-61	SFCK
06A	SNP190014	111,880	15:35	15:36	62-71	SFCK
08A	SNP190023	-	-	-	72-81	NPCJ
14A_Lastro	SNP170014	-	-	-	72-81	NPCJ
15A_Lastro	SNP170015	16.069,410	15:32	15:36	43-71	SFCK
16A_Lastro	SNP180020	-	-	-	08-34	PPCJ

Fonte: Relatório de medição topográfica (VALE S/A, s/d).

Porém, para aplicação deste método é exigido da equipe de topografia tempo e

dedicação. Conforme Tabela 2, todo o processo de levantamento aerofotogramétrico e planialtimétrico, para fins de cálculos volumétricos e geração de relatório, dura de 12 a 13 dias, trabalhando-se 8 horas por dia.

Tabela 2 – Tempo de execução no processo de levantamento aerofotogramétrico

Tempo de Duração (Em Minutos)	Pátio ABCDE	Pátio D	Pátio C	Pátio A	Pátio B	Pátio E	Pátio Pera
Descarregar fotos e Logs do Drone	15						
Copiar e juntar dados Rinex da base GPS	5						
Tranferir arquivos para o servidor do drone	10						
Corrigir imagens no eMotion	15						
Inserir Imagens corrigidas no Pix4D	5						
Entrar com os pontos de apoio (gcp) no Pix4D)	5						
Processar imagens no Pix4D	240						
Importar dados de nuvem para o ReCap	5						
Delimitar e limpar estrututas da nuvem de pontos		40	25	35	30	15	3
Exportar nuvem de pontos		5	3	8	7	2	1
Importar e gerar superfície da nuvem de pontos		10	15	20	13	8	7
Gerar Pontos de Grid		5	10	10	18	3	2
Criar blocos de pontos		3	3	3	3	1	1
Explodir Blocos		12	10	10	12	2	2
Delatar Atributos		8	8	20	23	2	2
Salvar pontos		3	3	3	3	2	2
Converter em sistema local		2	2	2	2	2	2
Total	300	88	79	111	111	37	22

Fonte: Autoria própria, 2020.

5.8 Histórico dos ajustes dos estoques

Tabela 3 – Histórico dos ajustes de estoques

	Total 2019	Total 2020	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
	(898.186)	363.973												
2019			(73.771)	20.018	(84.185)	(393.430)	(1.158)	(88.977)	15.904	33.056	(127.014)	(232.322)	16.915	16.777
2020			100.057	27.436	116.567	73.847	40.426	(130.388)	131.384	17.501	(12.858)			

Fonte: Autoria própria, 2020.

No processo de determinação dos estoques físico e contábil dos minérios estocados nos pátios de produto tem-se a conciliação entre estes estoques:

- Durante o processo de produção, o minério é pesado nas balanças dinâmicas acopladas às correias transportadoras a massa produzida, somada ao estoque.
- A mesma dinâmica acontece no processo de retomada do estoque, o minério é pesado nas balanças dinâmicas acopladas às correias transportadoras a

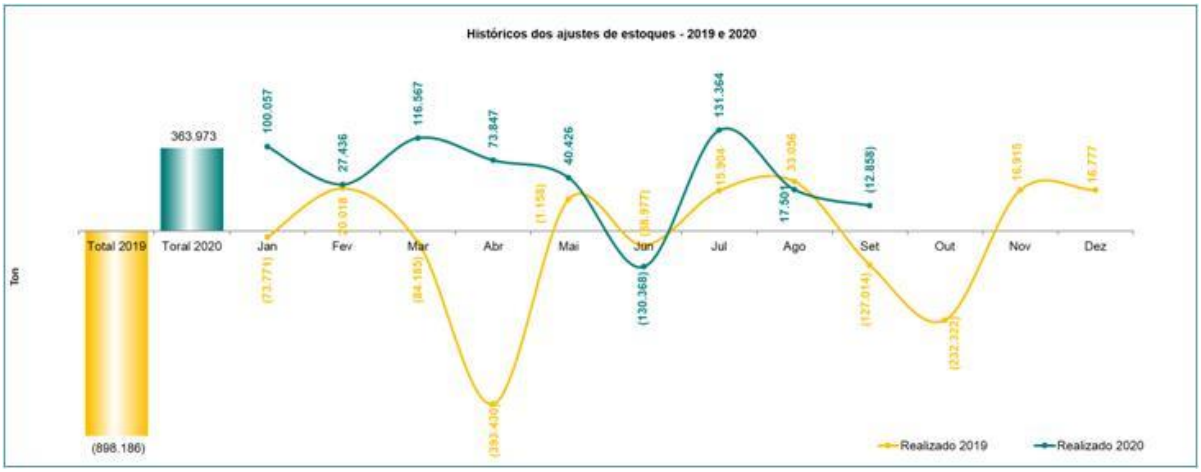
massa expedida, é baixada do estoque.

Estes processos de entrada e saída dos estoques podem apresentar diferenças (ajuste de estoque) devido a fatores como falhas nos instrumentos de medição, balança de produção e balança de expedição; diferença de umidade entre o minério produzido e o expedido, portanto, torna-se necessário um segundo procedimento no processo de contabilização dos estoques, que consiste em medir o estoque físico e conciliá-lo ao estoque contábil.

De posse do valor do estoque contábil e do estoque físico é possível realizar o processo de conciliação entre estes estoques, após assinaturas do documento com a autorização para realizar os ajustes devidos.

A seguir será apresentado o Gráfico 1, referente ao histórico dos ajustes de estoques de 2019 e 2020.

Gráfico 1 – Histórico dos ajustes de estoques de 2019 e 2020



Fonte: Relatório de inventário de estoque GPVM (VALE S/A., jul. 2020).

6 ANÁLISE E RESULTADOS - NOVA METODOLOGIA DE INVENTÁRIO DE ESTOQUE

Toda metodologia deve estar alinhada aos padrões, normas e requisitos legais, de maneira a garantir que os processos estabelecidos por novas metodologias possam direcionar a execução da rotina de modo seguro e garantir o objetivo proposto.

6.1 Sistema de controle

O sistema de controle é software com modelo matemático para geração do plano de empilhamento com soluções para controle de operações dos equipamentos, gerenciamento da produção, e formação das pilhas de produtos com transformação em estoque, em tempo real.

6.2 Plataforma LINX RTP

O sistema de controle da solução para operação autônoma de máquinas de pátio utiliza a plataforma LYNXRTP, que consiste basicamente na utilização de uma plataforma de software desenvolvida em linguagem de alto nível, com o objetivo de realizar lógicas e processamentos complexos em tempo real, geralmente inviáveis de serem implantadas em um Controlador Lógico Programável(CLP) ou Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD),como por exemplo, a digitalização de pilhas por scanner laser, scanner radar e interfaces 3D

6.3 Mapeamento por scanner laser

O mapeamento por scanner laser consiste em digitalizar as pilhas utilizando o scanner laser 3D instalado nas máquinas. A digitalização é feita em função da posição da máquina dada por Sistema de Posicionamento Global (GPS). O sistema processa as leituras de distância do scanner e gera uma nuvem de pontos 3D com posições georreferenciadas.

6.4 Mapeamento por scanner radar

O Scanner Radar 360º consiste em um scanner radar 2D, que realiza quatro varreduras 360º na vertical a cada um segundo, resultando em 400 medições de distância (uma a cada 0,9º). Possui alcance de 50 metros e resolução de 6,25 cm.

Além das outras funções do radar, como controle preditivo e anticolisão, ele também é utilizado para mapeamento da pilha. Consiste em digitalizar as pilhas utilizando os dois scanners radar 2D instalados na ponta da lança das recuperadoras. A digitalização é feita em função da posição da máquina dada por GPS. O sistema processa as leituras dos radares e gera uma nuvem de pontos 3D com posições georreferenciadas, da mesma forma que o scanner laser.

O mapeamento por scanner radar funciona como uma redundância ao mapeamento

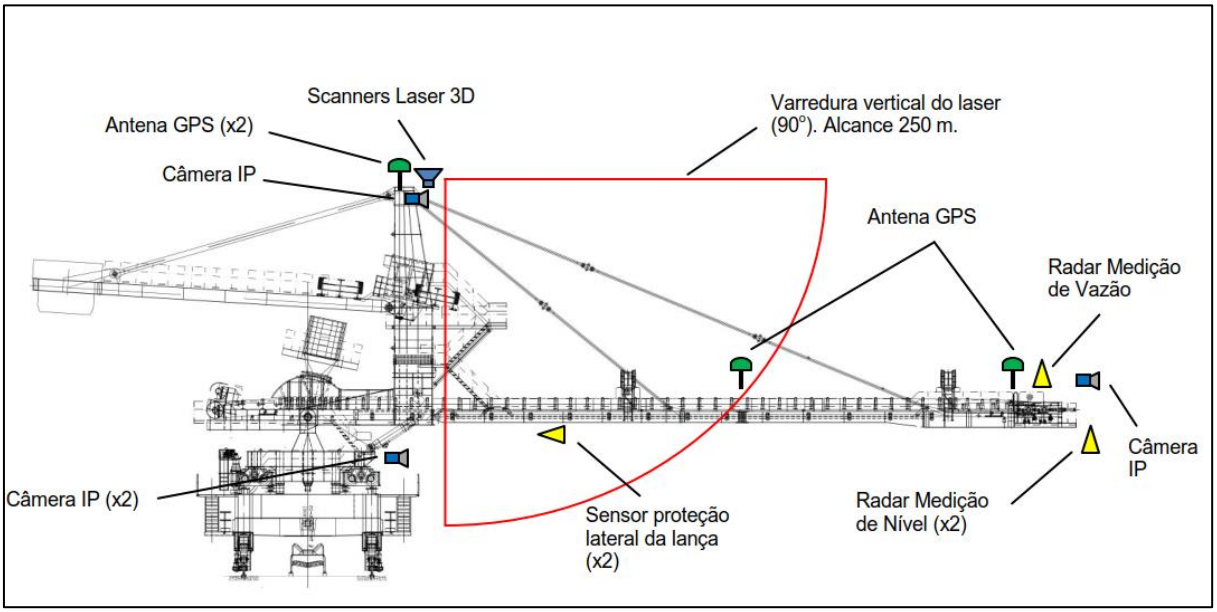
por scanner laser. Em caso de indisponibilidade do scanner laser 3D, a recuperadora pode operar em modo automático com restrições. Neste caso, o posicionamento na pilha deve ser feito manualmente, através do manete virtual. A recuperação e manobras de bancada continuam funcionando de forma automática.

Uma vantagem do mapeamento por scanner radar é a possibilidade de operar com neblina densa. A neblina não afeta as leituras do radar.

6.5 Posição de instalação dos instrumentos nas empilhadeiras e recuperadoras

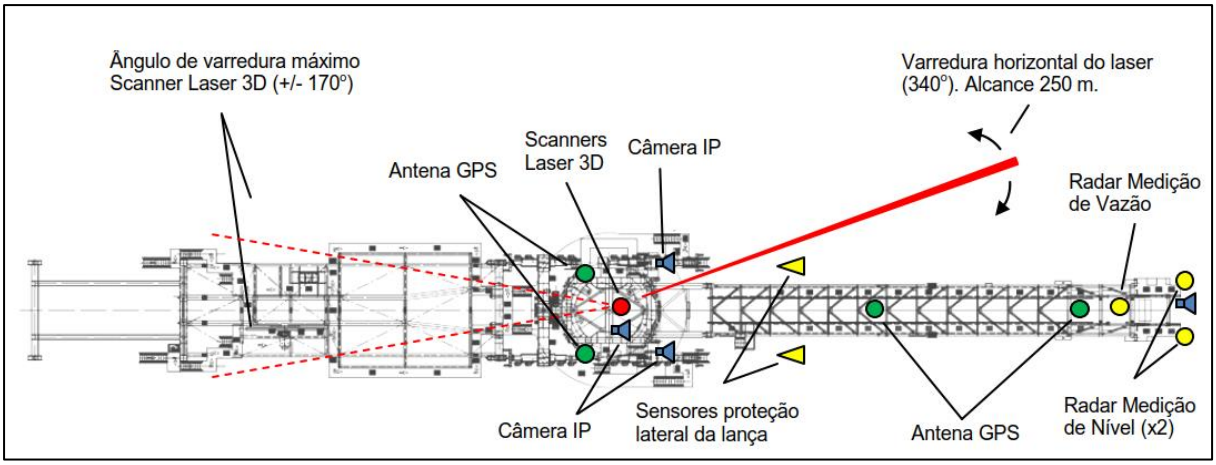
As figuras a seguir apresentam a posição de instalação dos instrumentos e representação do raio de varredura dos scanners laser na empilhadeira e recuperadoras.

Figura 22 – Posição de instalação dos instrumentos na empilhadeira - vista lateral



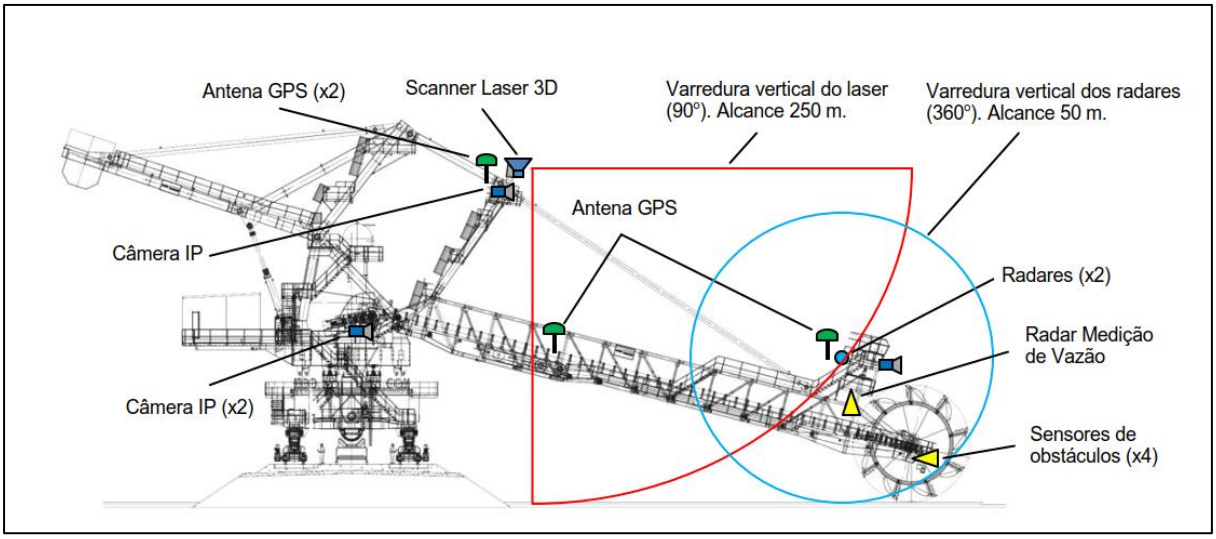
Fonte: Proposta técnica (LINX Optimization, 2018).

Figura 23 – Posição de instalação dos instrumentos na empilhadeira –vista superior



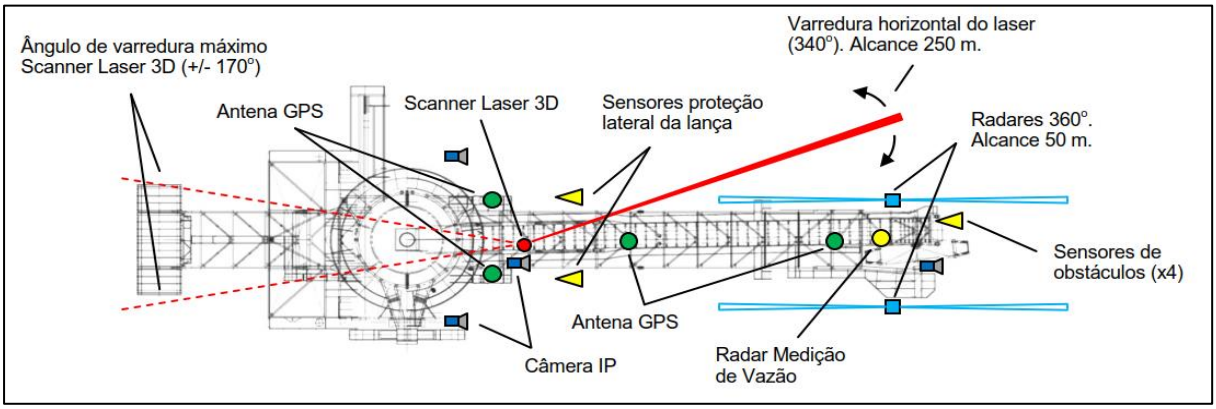
Fonte: Proposta técnica (LINX Optimization, 2018).

Figura 24 – Posição de instalação dos instrumentos na recuperadora–vista lateral



Fonte: Proposta técnica (LINX Optimization, 2018).

Figura 25 – Posição de instalação dos instrumentos na recuperadora–vista superior

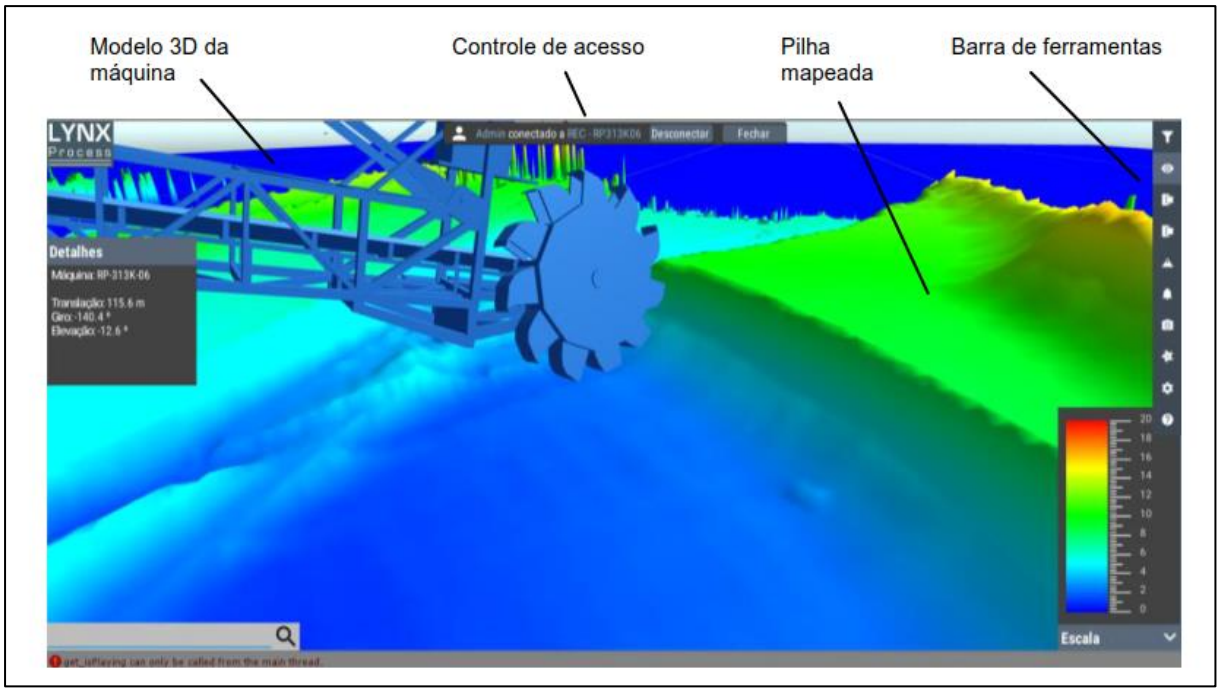


Fonte: Proposta técnica (LINX Optimization, 2018).

6.6 Aplicativo lynx studio 3d

O *LynxStudio 3D* é o aplicativo cliente dedicado ao ambiente 3D. Esta interface permite ao usuário monitorar online a posição das máquinas de pátio e o mapeamento das pilhas. Além disso, possui ferramentas para cálculo do volume das pilhas, monitoração do sistema anticolisão, informações e comandos para operação automática, semiautomática e manual de máquinas de pátio.

Figura 26 – Tela do aplicativo Lynx Studio 3D

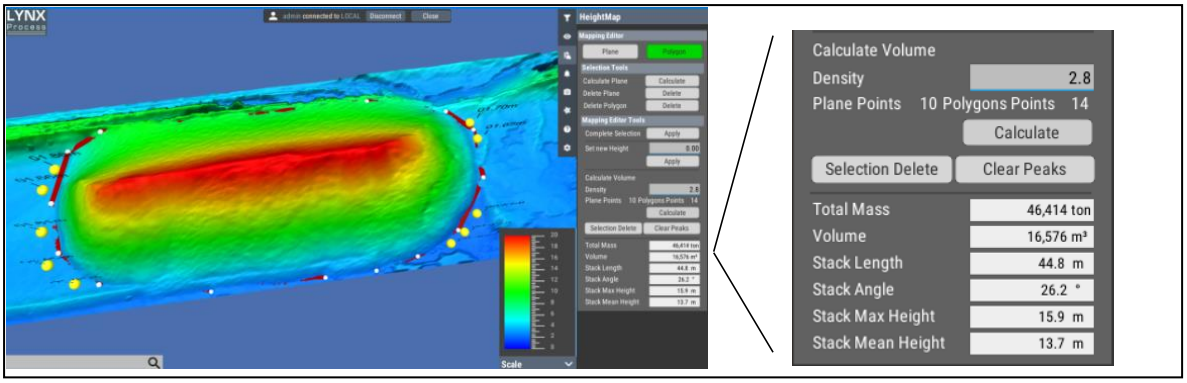


Fonte: Proposta técnica (LINX Optimization, 2018).

6.7 Plataforma para cálculo de volume e massa das pilhas

A Plataforma ***LYNX RTP*** tem a ferramentas para seleção automática e manual da pilha ou regiões do pátio edição e mapeamento do cálculo do volume, massa, ângulo de acomodação, altura máxima das pilhas de minério estocada no pátio.

Figura 27 – Plataforma para cálculo e de volume e massa das pilhas



Fonte: Proposta técnica (LINX Optimization, 2018).

6.8 Método para determinação de densidade

A densidade de um sólido é a razão entre a sua massa e o seu volume correspondente. Segundo Abreu (2009) apud *Reis* (2011) existem vários métodos indicados para a determinação da densidade de minério estocado em pilhas. O estoque físico é estimado realizando uma aferição do volume da pilha, para posteriormente, de possa da densidade do minério, calcular a massa efetiva, convertida em quilogramas ou toneladas.

6.9 Fatores que influenciam a determinação densidade

Segundo Reis (2011), existem diversos fatores que influenciam a determinação da densidade. Entre estes temos a compressibilidade.

- **Compressibilidade**

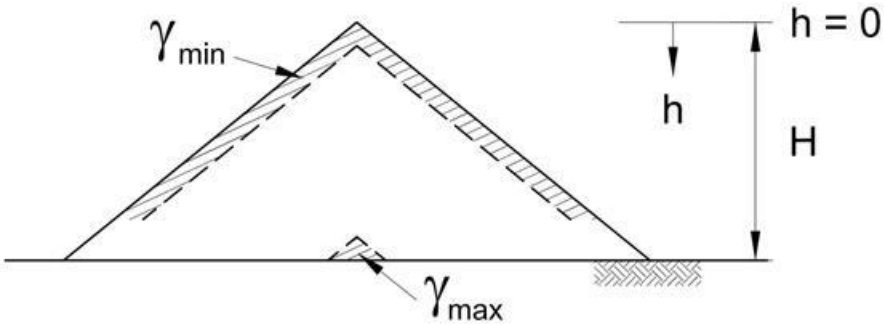
A densidade do minério de ferro estocado em pilhas pelo método Chevron, conforme a Figura 28, em um dado ponto da pilha varia em função da altura de material acima daquele ponto, apresentando diferentes densidades. O material mais superficial pressiona o material que está na parte inferior da pilha, diminuindo os espaços vazios entre uma partícula e outra. Com isto, a massa presente num dado volume tende a aumentar com a profundidade ou com a altura da pilha, alterando assim o valor da densidade. O grau de compactação apresenta também uma grande influência na percolação de água e, consequentemente, na drenagem da pilha (REIS, 2011).

Figura 28 – Formação de pilha pelo método Chevron

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2020.

Para Cabrejos, Jenikee Johanson (2018), na maioria dos casos reais, os materiais manipulados são compressíveis, ou seja, a densidade de massa varia significativamente com a consolidação da pressão (altura da pilha) e características do material – principalmente densidade de partículas, tamanho e umidade. Portanto, a densidade de massa varia dentro do material armazenado no estoque, a partir de um valor mínimo na superfície (sem excesso de pressão) para um valor máximo no centro da base da pilha (alta pressão), como mostrado esquematicamente na Figura 29.

Figura 29 – Densidade de massa mínima e máxima de um material compressível armazenado em um estoque



Fonte: CABREJOS; JENIKE; JOHANSON (2018, p. 3).

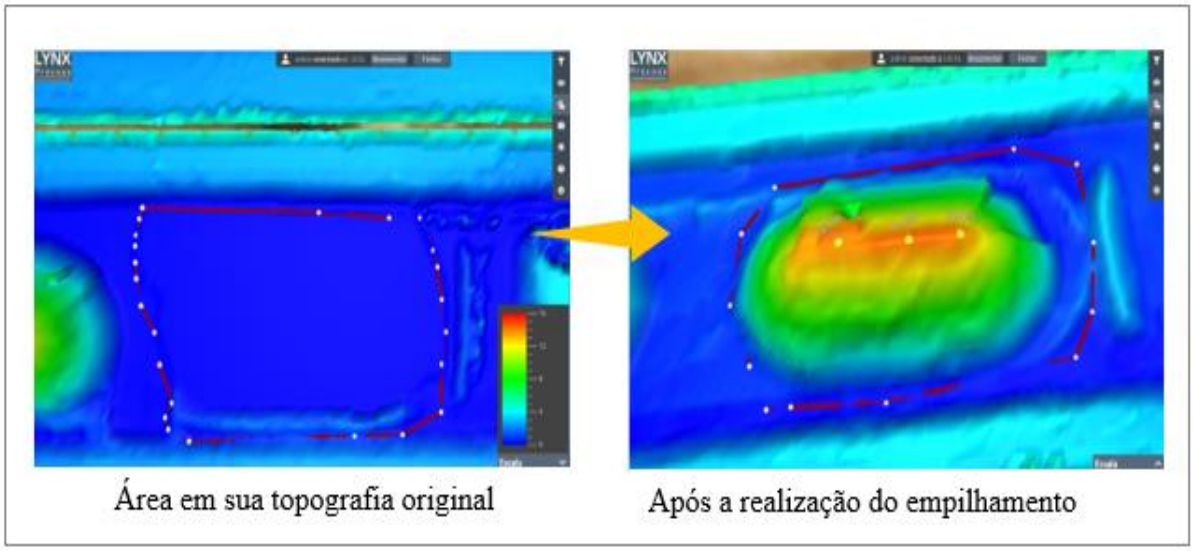
6.10 Metodologia de determinação de densidade com Scanner a laser

Pela plataforma ***LYNX RTP*** o scanner laser instalado nas máquinas permite o mapeamento, onde consiste em digitalizar as pilhas utilizando o scanner laser 3D, a digitalização é feita em função da posição da máquina dada por Sistema de Posicionamento Global (GPS). O sistema processa as leituras de distância do scanner e gera uma nuvem de pontos 3D com posições georreferenciadas, este procedimento permite a determinação das coordenadas dos pontos escaneados.

Segundo Goes (2013), a utilização do Scanner a laser para determinação de densidade deve-se:

1. Fazer volumetria inicial do local de formação da pilha;
2. Escanear inicialmente o empilhamento em seguida a retomada das pilhas de minério;
3. Aferir as balanças e iniciar a formação da pilha, anotando ao final da formação o peso obtido nas balanças de produção;
4. Fazer volumetria final da pilha, calculando o volume empilhado e utilizar os dados para calcular a densidade.

Figura 30 – Densidade média após formação inicial e final



Fonte: Plataforma ***LYNX RTP*** (LINX Optimization, 2020).

Ao final do empilhamento, mede-se o volume da pilha (figura 30) utilizando o escaneamento a laser. A diferença entre o volume final e o volume inicial fornece o volume do material empilhado que, junto a massa obtida nas balanças de produção fornece a

densidade aparente da pilha segundo a equação:

$$\boldsymbol{Densidade} = \frac{Massa\ do\ Material}{(Volume\ Final - Volume\ Inicial}$$

Tabela 4 – Densidade aparente

	Área em sua topografia original	Após a realização do empilhamento
Produção (t)	-	6.423
Volume (m3)	-	2.005
Horário	17:30	21:30
Densidade		**3,20**

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2020

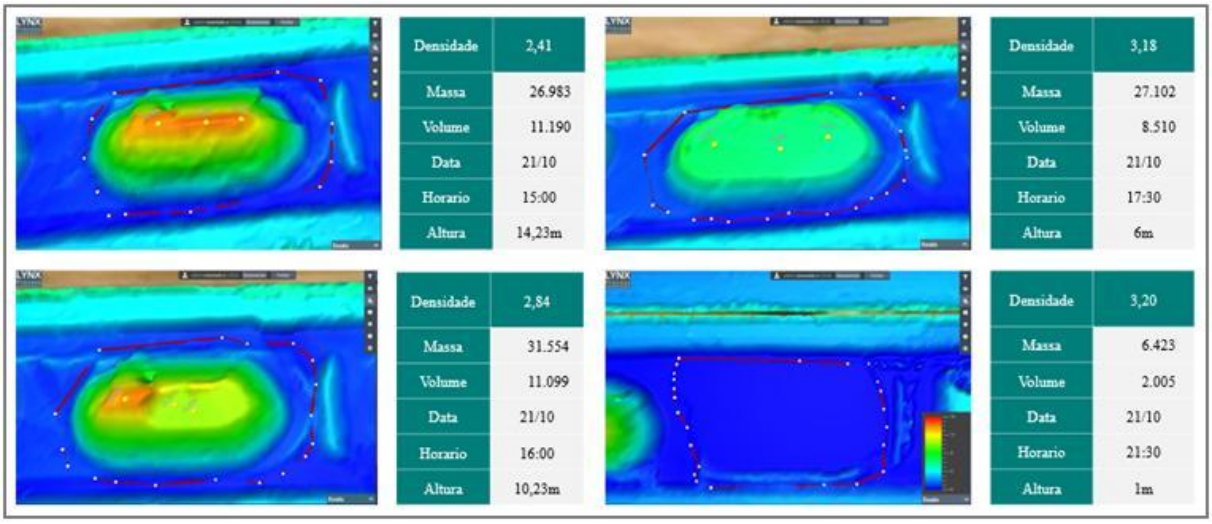
7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados foram satisfatórios visto a aplicação do método, onde-se chegou nos números aceitáveis ao comparar os resultados das densidades médias encontradas pela plataforma com os resultados de densidade média calculada pelo método do preenchimento de volume.

Pela plataforma ***LYNX RTP*** e, segundo Goes (2013), deve-se:

- Fazer volumetria inicial do local de formação da pilha.
- Aferir as balanças e iniciar a formação da pilha, anotando ao final da formação o peso obtido nas balanças de produção.
- Fazer volumetria final da pilha, calculando o volume empilhado e utilizar os dados para calcular a densidade.

Figura 31 – Densidade média após formação inicial da pilha e retomada em bancadas



Fonte: Plataforma ***LYNX RTP*** (LINX Optimization, 2020).

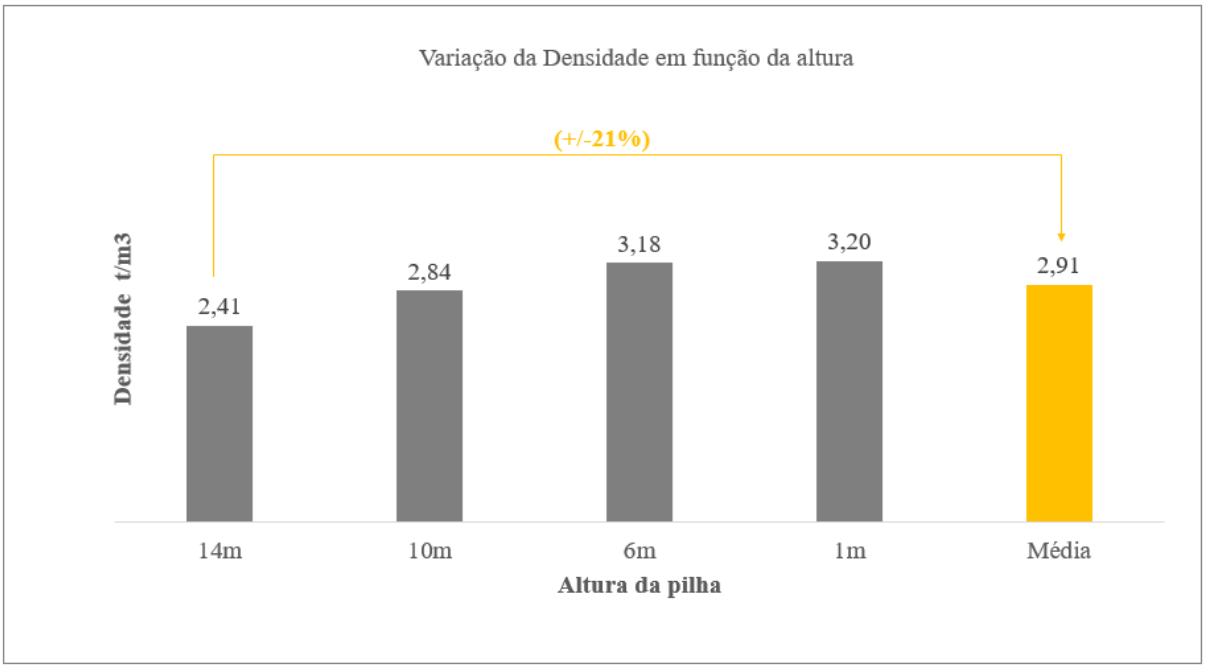
A densidade média após formação inicial da pilha pôde ser calculada em 2,41 t/m3.

Utilizando o método de bancada para recuperar pilhas em bancadas de 4 m de altura, conforme procedimento operacional Vale (PRO 006924 – Recuperar Minério), a densidade média da primeira camada de 4 m foi de 2,84t/m^3, segunda camada de 4 m foi de 3,18t/m^3, enquanto que a última camada de 4 m teve densidade média de 3,20t/m^3.

Devido ao efeito de compressibilidade, houve uma variação de +/- 21%, quando comparado a densidade inicial com a média das densidades das bancadas, o que pode ser muito alto para controle de inventário, conforme o Gráfico 2 a seguir.

Esta variação poderá ocorrer mesmo com o novo sistema, uma vez que a determinação da densidade será feita com base na massa computada pelas balanças de produção e expedição e volume final da pilha obtido pelo scaner.

Gráfico 2 – Variação da densidade em função da altura

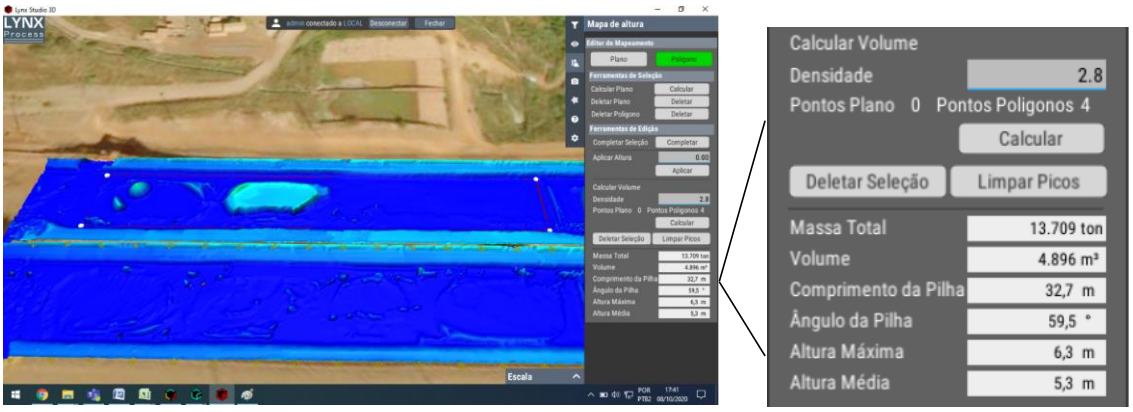


Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2020.

A densidade média após formação inicial da pilha pôde ser calculada em 2,41 t/m^3, utilizando o método de bancada.

No Layout de pátio 3D (Figura 32) e no registro fotográfico dos pátios G e H abaixo (Figura 33) podemos comprovar a eficácia do método aplicado para realizar cálculo do inventário de estoque, uma vez que os resultados apresentados pela plataforma estão coerentes com o registro físico.

Figura 32 – Layout de pátio 3D com cálculo de volume



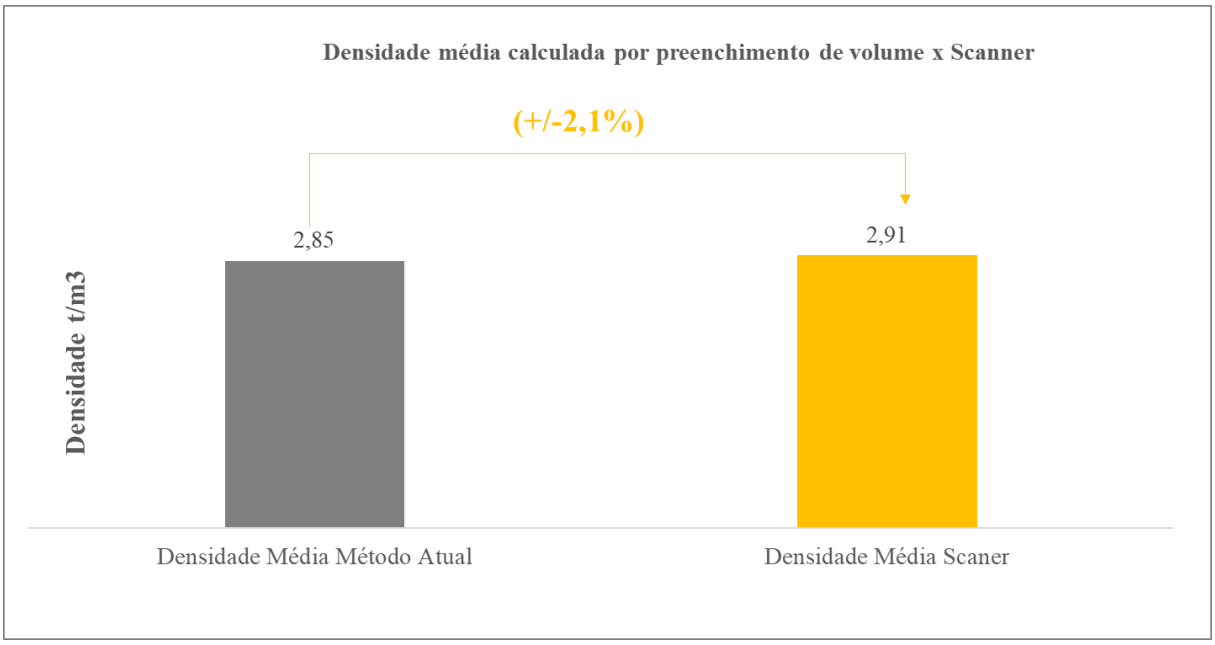
Fonte: Proposta técnica (LINX Optimization, 2018).

Figura 33 – Pátio de estocagem após rechego do material

Fonte: Autoria própria, 2020.

Ao comparar os resultados das densidades médias encontradas pela plataforma com os resultados de densidade média calculada pelo método do preenchimento de volume foi encontrada uma pequena variação, conforme o Gráfico 3, a seguir.

Gráfico 3 – Comparação da densidade (método do preenchimento x Scanner)



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2020.

Ao aplicar os resultados das densidades médias encontradas pela plataforma (Scanner laser) 2,91t/m^3 e pelo método do preenchimento de volume 2,852,91t/m^3, ao volume

729.542m^3 realizado com a determinação da geometria das pilhas por medição topográfica dos estoques físicos em determinado mês (outubro de 2020) para o produto Sinter Feed, pode-se perceber na Tabela 4 as relevantes diferenças encontradas de 40.125 toneladas a menos no estoque aplicando a densidade de 2,852,91t/m^3. Quando comparado a produção do mesmo período e mesmo produto, observa-se uma diferença significativa em percentual nos ajustes.

Tabela 5 – Estoques físico versos estoque contábil

Volume (m³)	Densidade (t/m³)	Densidade (t/m³)	Estoque Físico com a Densidade de 2,85 (t)	Estoque Físico com a Densidade de 2,91 (t)	Estoque Contábil (t)
729.542	2,85	2,91	2.082.841	2.122.966	2.223.123

Estoque Físico com a Densidade 2,85 (t)	Estoque Contabil (t)
2.082.841	2.223.123
Diferença	- 140.281

Estoque Físico com a Densidade 2,91 (t)	Estoque Contabil (t)
2.122.966	2.223.123
Diferença	- 100.157

Produção Mensal (t)		10.116.449	
Ajuste de estoque considerando densidade 2,85 (t/m3)	-	140.281	-1,4%
Ajuste de estoque considerando densidade 2,91 (t/m3)	-	100.157	-1,0%
Diferença		40.125	0,4%

Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2020.

As ações acima requerem padronizações das atividades de rotina. Como trabalho futuro estudar a medição da densidade devido à compressibilidade do minério estocado em pilhas, para melhoria no processo de ajuste de estoque e mitigação dos desvios abordados.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme apresentado, a plataforma Lynx possui parâmetros para controle em conjunto com os indicadores estabelecidos e a sistematização da rotina de operação dos pátios de produtos em Carajás.

O sistema de controle autônomo de máquinas de pátio utiliza a plataforma ***LYNXRTP,*** apresentado nos itens 4.1, 4.3 e 4.4, consiste basicamente na utilização de uma plataforma de software desenvolvida em linguagem de alto nível, com o objetivo de realizar lógicas e processamentos complexos em tempo real, possibilitando interface online com o Sistema de Gestão Vale e Sistema Contábil.

Analisando as metodologias para medição de minério em pátio de estocagem, verifica-se que:

- utilizando o método de levantamento aerofotogramétrico (RPA/Drones) para determinação volumétrica das pilhas, percebe-se que a metodologia garante precisão dentro dos padrões estabelecidos, porém ele demanda aproximadamente 300 horas de trabalhos; enquanto utilizando a plataforma ***LYNX RTP,***o levantamento acontece durante a formação das pilhas pelos Scanners a laser, com varredura horizontal de 340ºe alcance 250 m., instalados no topo das empilhadeira e apresentando os resultados online;

- para a determinação de medição de densidade pelo método da técnica de preenchimento por volume de água, requer tempo e esforço da equipe do laboratório para garantir que não haja desvio durante a coleta em campo, que acontece trimestralmente. Os valores de densidade determinados são replicados para todas as pilhas estocadas no pátio. Esta metodologia não considera as variáveis que influenciam diretamente no valor determinado, como a altura da pilha, o método de recuperação (bancadas) e a compressibilidade do minério causada pelo seu peso. Porém, esta metodologia é utilizada por grandes empresas do setor da mineração. Enquanto na determinação da densidade pela plataforma ***LYNX RTP,*** o cálculo pode ser realizado em menos de 1 hora e obtendo os resultados online.

Por fim, o estudo da metodologia apresentada para medição de minério nos pátios de estocagem viabiliza nova sistematização da rotina do inventário/estoque dos pátios de produtos em Carajás. A metodologia adotada possibilita que, de uma estação de computador, o inventário possa ser calculado em questões de minutos, possibilitando assim, que todo o processo existente atualmente possa ser substituído, com ganhos significativos de tempo e confiabilidade.

REFERÊNCIAS

ABREU, A. PRO-002-GEPDL. Amostrar densidade aparente em pilhas de produtos. Ouro Preto: Vale, 2009.11p. (Procedimento operacional, Mineração). In: REIS, F. S. **Propostas metodológicas para quantificação mássica de pilhas de minério de ferro**. 2011. 51 fls. Monografia (Curso de Especialização em Engenharia de Recursos Minerais) - Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Belo Horizonte, 2011.

AEROFOTOGRAMETRIA. **IBGE**. Conceitos gerais. Disponível em: <https://www.infoescola.com/cartografia/aerofotogrametria> Acesso em: 20 ago. 2020

ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de Química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. Porto Alegre: Bookman, 2001. p. 39-40.

CABREJAS, F; JENIKE; JOHANSON, C. How to estimate the storage capacity of flat-bottom stockpiles handling compressible bulk materials. INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONVEYING AND HANDLING OF PARTICULATE SOLIDS, 9th. ChoPS, London UK, 2018. 10th.14th September 2018. 7 fls.

DRONE MANUAL. **eBee Plus-PT**. Drone User Manual. Set. 2018. Disponível em: <www.heetp://my.selfly.com. Acesso em: 25 jul. 2020.

FERREIRA, M.P. **LINX Process** – Plataforma LYNX RTP e Pátio Autônomo - Soluções especiais utilizando a plataforma a plataforma LYNX- RTP (Real Time Plataform), s/d.

GEO-AGRI TECNOLOGIA. **Especificação Técnica**. Disponível em: <https://www.geoagri.com.br/empresa> Acesso em 15 ago. 2020.

GOES, F. **Método de determinação de umidade e densidade de minério de Ferro**. VALE S/A, Carajás, 2013.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Aerofotogrametria**. s/d.

ICSTI - 42º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 13º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 6th International Congressonthe Science and Technology ofIronmaking. **Anais**... vol. 6, num.6 (14 a 18 de outubro de 2012). Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

ISO – Organização Internacional de Normalização - **ISO 3852:2007**– Iron ores for blast furnace and direct reduction feedstocks — Determination of bulk density.Minérios de ferro para alto-forno e insumos de redução direta - Determinação da densidade aparente. 2007.

LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAMÉTRICO. Disponível em: <geoagri.com.br/empresa>. Acesso em: 15 ago. 2020.

LYNX Optimization. **Proposta Técnica**. 13/07/2018.

LYNX Optimization. **Sistema de Gerenciamento de Pátio** (SGP). Grupo TSA, 2013.

LYNX Process – **Plataforma Lynx RTP e Pátio Autônomo**. Grupo TSA, s/d.

MOURA, A. **Treinamenato Interno de Balanças Dinâmicas**. VALE S/A., 2011.

OLIVEIRA, P.C. 2015. 44 fls**. Estudo do controle de formação e retomada de pilhas de minério**. Monograria (Pós-Graduação em Tratamento de Minérios) – Universidade de Goiás, Catalão (GO), jan. 2015.

REIS, F. S. **Propostas metodológicas para quantificação mássica de pilhas de minério de ferro**. 2011. 51 fls. Monografia (Curso de Especialização em Engenharia de Recursos Minerais) - Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Belo Horizonte, 2011.

SILVEIRA, J. Físico com especialização nuclear. Diretor. MS Instrumentos Industriais Ltda. Rio de Janeiro –Brasil, s/d. In: ICSTI, ICSTI- 42º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 13º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 6th International Congressonthe Science and Technology ofIronmaking. **Anais...** vol. 6, num.6 (14 a 18 de outubro de 2012). Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

SOUZA, A. **A automação da topografia com uso de RPA no Complexo de Carajás**, Carajás 2019.

TOLEDO DO BRASIL.**Balança integradora**. Relatório de medição topográfica. VALE S/A., 2010.

VALE S/A. **PRO-006922**; Empilha Minério. 23 fls, p. 08-09. (Procedimento Operacional, Mineração). Carajás, 2020.

VALE S/A. **PRO-006924**; Recuperar MinérioRev.: 10-01/06/2020. 11 fls, p. 06-07. (Procedimento Operacional, Mineração). Carajás, 2020.

VALE S/A. **Relatório de Inventário de estoque**. Diretoria Corredor Norte - Gerência de Planej. Curto Prazo Corredor Norte. Julho/2020.

VALE S/A. **Relatório de medição topográfica**. Quality report. Pátios abcd report. PDF/XChange Editor, s/d.

VIDMAR GROUP. **Balanças de pesagem**. Disponível em: <https://vidmargroup.com/productos-servicios/pesaje-continuo-y-dosificacion/bascula-integradora/> Acesso em: 20 ago. 2020.